



(19) BUNDESREPUBLIK

DEUTSCHLAND

DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

## (12) Patentschrift

(10) DE 197 42 366 C 1

(51) Int. Cl. 6:

G 01 R 33/09

H 01 F 10/00

(21) Aktenzeichen: 197 42 366.3-35  
 (22) Anmeldetag: 25. 9. 97  
 (43) Offenlegungstag: -  
 (45) Veröffentlichungstag der Patenterteilung: 27. 5. 99

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

## (23) Patentinhaber:

Siemens AG, 80333 München, DE

## (27) Erfinder:

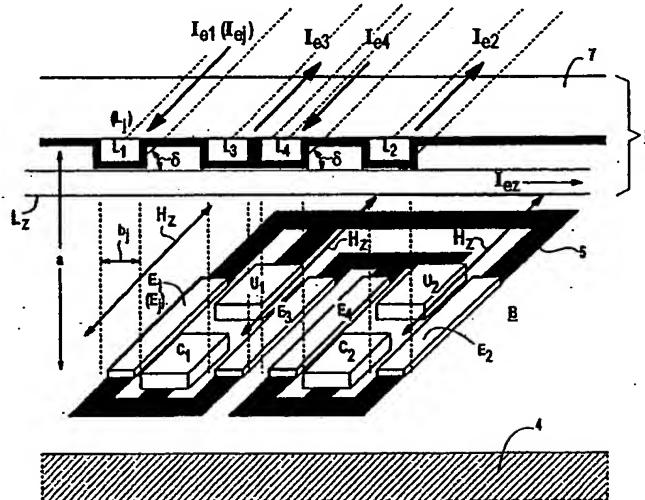
Berg, Hugo van den, Dr., 91074 Herzogenaurach, DE

## (36) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht gezogene Druckschriften:

DE	1 95 20 206 A1
DE	1 95 20 178 A1
DE	1 95 20 172 A1
DE	1 95 07 303 A1
DE	42 43 357 A1
DE	42 32 244 A1
EP	04 83 373 A1
WO	94 15 223 A1

## (34) Einrichtung mit magnetoresistivem Sensorelement und zugeordneter Magnetisierungsvorrichtung

(57) Die Einrichtung umfaßt ein GMR-Sensorelement ( $E_1$ ) sowie eine Magnetisierungsvorrichtung (8). Diese Vorrichtung soll stromführende, magnetische Einstellfelder erzeugende Leiterbahnen ( $L_1, L_2$ ) aufweisen, die sich untereinander kreuzen. Mit einer der Leiterbahnen ( $L_2$ ) wird dabei ein oszillierendes, abklingendes Zusatzfeld ( $H_z$ ) hervorgerufen.



## Beschreibung

Die Erfindung geht aus von einer Einrichtung mit mindestens einem Sensorelement zur Erfassung der Richtung eines äußeren Magnetfeldes, wobei das Sensorelement einen sehr großen magnetoresistiven Effekt (GMR) zeigendes Mehrschichtensystem aufweist, gemäß den im Oberbegriff des Anspruchs 1 angegebenen Merkmalen.

Eine entsprechende Einrichtung mit magnetoresistivem Sensor und Magnetisierungsvorrichtung geht aus der DE 195 20 178 A1 hervor.

In Schichten aus ferromagnetischen Übergangsmetallen wie Ni, Fe oder Co und deren Legierungen kann eine Abhängigkeit des elektrischen Widerstandes von der Größe und der Richtung eines das Material durchdringenden Magnetfeldes gegeben sein. Den bei solchen Schichten auftretenden Effekt nennt man "anisotropen Magnetowiderstand (AMR)" oder "anisotropen magnetoresistiven Effekt". Er beruht physikalisch auf den unterschiedlichen Streuquerschnitten von Elektronen mit verschiedenem Spin und der Spinpolarität des D-Bandes. Die Elektronen werden als Majoritäts- bzw. Minoritätselektronen bezeichnet. Für entsprechende magnetoresistive Sensoren wird im allgemeinen eine dünne Schicht aus einem solchen magnetoresistiven Material mit einer Magnetisierung in der Schichtebene vorgesehen. Die Widerstandsänderung bei Drehung der Magnetisierung bezüglich der Richtung eines über den Sensor geleiteten Stromes kann dann einige Prozent des normalen isotropen (= ohm'schen) Widerstandes betragen.

Ferner sind magnetoresistive Mehrschichtensysteme bekannt, welche mehrere, zu einem Stapel angeordnete ferromagnetische Schichten enthalten, die jeweils durch metallische, nichtmagnetische Zwischenschichten voneinander getrennt sind und deren Magnetisierungen jeweils vorzugsweise in der Schichtebene liegen. Die Dicken der einzelnen Schichten sind dabei deutlich geringer als die mittlere freie Weglänge der Leitungselektronen gewählt. In derartigen Mehrschichtensystemen kann nun zusätzlich zu dem erwähnten anisotropen magnetoresistiven Effekt AMR ein sogenannter "giant-magnetoresistiver Effekt" oder "Giant-Magnetowiderstand (GMR)" auftreten (vgl. z. B. EP 0 483 373 A1). Ein solcher GMR-Effekt beruht auf der unterschiedlich starken Streuung von Majoritäts- und Minoritäts-Leitungselektronen an den Grenzflächen zwischen den ferromagnetischen Schichten und den dazu benachbarten Zwischenschichten sowie auf Streueffekten innerhalb dieser Schichten. Der GMR-Effekt ist dabei ein isotroper Effekt. Er kann erheblich größer sein als der anisotrope Effekt AMR. Im allgemeinen spricht man von einem GMR-Effekt (bei Raumtemperatur), wenn er Werte annimmt, die deutlich über denen von AMR-Einschichtelementen liegen.

In einem GMR-Effekt zeigenden Mehrschichtensystemen sind benachbarte magnetische Schichten zunächst irgendwie zueinander magnetisiert, wobei bei speziellen Ausführungsformen eine Biasschicht bzw. eine Biasschichtanordnung magnetisch härter als eine möglichst weichmagnetische Meßschicht ist. Unter Einfluß eines äußeren, gerichteten Magnetfeldes, d. h. einer in der Schichtebene ausgeprägten Komponente dieses Feldes, wird dann die Magnetisierung der weichmagnetischen Meßschicht entsprechend der Richtung des Magnetfeldes ausgerichtet, während die Ausrichtung der magnetisch härteren Biasschicht praktisch unverändert bleibt. Dabei bestimmt der Winkel zwischen den Magnetisierungsrichtungen der beiden Schichten den Widerstand des Mehrschichtensystems. Bei entsprechenden Magnetfeldsensoren wird diese Tatsache ausgenutzt.

Bei einem aus der DE 42 43 357 A1 zu entnehmenden GMR-Magnetowiderstands-Sensor sind zwei weichmagne-

tische Meßschichten zu beiden Seiten einer magnetisch härteren Biasschicht vorgesehen, wobei die beiden Meßschichten gegenüber der gemeinsamen Biasschicht jeweils durch eine nichtmagnetische Zwischenschicht beabstandet sind.

5 Zur Vermeidung von Domänenbildung sind die Grundzustandsmagnetisierungen der beiden Meßschichten jeweils um einen kleinen Winkel gegenüber der Normalenrichtung zur Magnetisierung der Biasschicht in unterschiedlichem Drehsinn eingestellt, so daß sie einen Winkel von etwas weniger als 180° miteinander einschließen. Dies kann durch Einprägen entsprechend zueinander geneigter Vorzugsachsen in die entsprechenden Meßschichten erreicht werden.

Bei einem aus der WO 94/15223 A1 entnehmbaren magnetoresistiven Sensor weist dessen einen GMR-Effekt zeigendes Mehrschichtensystem eine magnetische Biasschichtanordnung auf, die einen sogenannten künstlichen Antiferromagneten bildet. Hierbei enthält die Biasschichtanordnung eine erste magnetische Biasschicht, welche über eine nicht-magnetische Kopplungsschicht antiferromagnetisch an eine weitere magnetische Biasschicht angekoppelt ist. Damit läßt sich verhindern, daß sich ein Teil des Magnetflusses der einen Biasschicht über die Meßschicht schließt. Ein entsprechender künstlicher Antiferromagnet ist nach außen hin magnetisch weitgehend neutral, d. h. sein Magnetfeld schließt sich praktisch ganz zwischen der Biasschicht und der zusätzlichen Magnetschicht. Damit ergibt sich der Vorteil einer Stabilisierung der Magnetisierung der Biasschicht auch bei stärkeren äußeren Magnetfeldern.

Darüber hinaus ist zur Erhöhung der Signalstärke eines 30 GMR-Mehrshichtensystems bekannt, eine sich periodisch wiederholende Schichtenfolge vorzusehen (vgl. z. B. DE 42 32 244 A1). Denn die Signalstärke steigt mit der Anzahl der Perioden an gleichen Schichtpaketen asymmetrisch bis zu einem Maximalwert monoton an. Die Anzahl der Perioden in einem entsprechenden Dünnschichtenaufbau kann ohne weiteres 100 oder mehr betragen.

Bei solchen GMR-Mehrshichtensystemen, die auch als Hart-Weich-Systeme wegen ihrer hartmagnetischen Biasschicht oder Biasschichtanordnung und ihrer weichmagnetischen Meßschicht bezeichnet werden, sollen die Biasschichten eine möglichst einheitliche Magnetisierung in einer vorgebestimmten Richtung aufweisen. Eine entsprechende Magnetisierung kann z. B. mit einer aus der eingangs genannten DE 195 20 178 A1 zu entnehmenden Magnetisierungseinrichtung vorgenommen werden. Diese Einrichtung weist Stromleiterbahnen auf, die oberhalb von zugeordneten GMR-Mehrshichtensystemen zu positionieren sind. Mit in den Stromleiterbahnen zu führenden elektrischen Strömen sind dann Magnetfelder hervorzurufen, die zur Einstellung bzw. Einprägung der Magnetisierungen in den Biasschichten dienen. Falls diese als magnetische Grundfelder zu betrachtenden Felder nicht hinreichend stark sind, können diese Felder bei der bekannten Magnetisierungseinrichtung zusätzlich noch von die Feldstärke erhöhenden, in dieselbe 55 Richtung wie die Grundfelder weisenden magnetischen Zusatzfeldern oder Hilfsfeldern überlagert werden.

Es zeigt sich jedoch, daß eine entsprechende Einstellung der Magnetisierung in einer Biasschicht oder Biasschichtanordnung eines GMR-Mehrshichtensystems durch eine sogenannte Rotationshysterese erschwert wird. Dies ist vor allem der Fall bei der Einstellung von Mehrshichtensystemen, die einen künstlichen Antiferromagneten aufweisen, bei denen sich mehrere Schichten in unterschiedliche Richtung orientieren müssen. Aufgrund dieser Rotationshysterese sind nämlich insbesondere folgende Abweichungen von einem gewünschten Signalverhalten des Mehrshichtensystems festzustellen:

- 1) Die Magnetisierungen der Biasschichten sind nicht einheitlich und sind aufgespalten in Bereiche mit entgegengesetzten Verdrehungen bezüglich einer Idealeinstellung.
- 2) Ein einen künstlichen Antiferromagneten bildendes Mehrschichtensystem befindet sich folglich nicht in einem Zustand minimaler Energie.
- 3) Demzufolge wird der Signalhub des Mehrschichtensystems geringer sein und die Kennlinie des Mehrschichtensystems von einem idealen Verlauf abweichen.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, die Einrichtung mit den eingangs genannten Merkmalen dahingehend auszugestalten, daß man in den Biasschichten oder Biasschichtanordnungen solcher GMR-Mehrschichtensysteme einen Zustand minimaler Energie einstellen kann.

Diese Aufgabe wird ausgehend von den im Oberbegriff des Anspruchs 1. angegebenen Merkmalen dadurch gelöst, daß die Magnetisierungsvorrichtung neben einer einen ersten Einstellstrom zur Grundfelderzeugung führenden ersten Leiterbahn eine einen zweiten Einstellstrom führende zweite Leiterbahn zur Erzeugung eines innerhalb der Abklingzeit des Grundfeldes mit oszillierender Feldstärkeamplitude von einem Maximalwert auf Null abklingenden Zusatzfeldes enthält, wobei die beiden Leiterbahnen so angeordnet sind, daß sich ihre Stromführungsrichtungen unter einem Winkel ungleich  $0^\circ$  oder ungleich  $180^\circ$  kreuzen.

Es wurde nämlich erkannt, daß zum Erreichen des Zustands der minimalen Energie in einer Biasschicht oder einer Biasschichtanordnung ein zusätzliches Wechselfeld mit abnehmender Amplitude geeignet ist, das nicht in dieselbe Richtung weist wie das magnetische Grundfeld. Bei einem entsprechend behandelten Mehrschichtensystem treten dann die vorstehend erwähnten Probleme aufgrund einer Rotationshysterese vorteilhaft nur in verminderter Form oder gar nicht auf.

Vorteilhafte Ausgestaltungen der erfundungsgemäßen Einrichtung gehen aus den abhängigen Ansprüchen hervor.

Zur weiteren Erläuterung der Erfindung wird nachfolgend auf die Zeichnung Bezug genommen. Dabei zeigen jeweils schematisch

deren Fig. 1 und 2 in Diagrammen typische Hystereseschleifen von magnetoresistiven Mehrschichtensystemen, deren Fig. 3 und 4 in Diagrammen zwei verschiedene Einstellfelder für eine erfundungsgemäße Einrichtung, deren Fig. 5 eine entsprechende Einrichtung mit einer Magnetisierungsvorrichtung zur Erzeugung sowohl des Grund- als auch des Zusatzfeldes für mehrere Sensorelemente,

deren Fig. 6 eine besondere Ausführungsform eines Sensorelementes,

deren Fig. 7 eine Leitergeometrie zur Grundfeldmagnetisierung von mehreren Sensorelementen gemäß Fig. 6,

deren Fig. 8 die Leitergeometrie nach Fig. 7 mit zusätzlicher Leitergeometrie zur Erzeugung eines oszillierenden Wechselfeldes,

deren Fig. 9 eine weitere Ausführungsform einer Leitergeometrie zur Magnetisierung mehrerer Sensorelemente gemäß Fig. 6,

deren Fig. 10 eine besondere Anordnung mehrerer Sensorelemente und Stromleiterbahnen einer Magnetisierungsvorrichtung sowie

deren Fig. 11 eine Ausführungsform eines Winkeldetektors mit orthogonalen Sensorelementen.

Dabei sind in den Figuren sich entsprechende Teile jeweils mit denselben Bezugszeichen versehen.

Eine erfundungsgemäße Einrichtung umfaßt wenigstens

ein besonderes magnetoresistives Sensorelement sowie eine diesem Sensorelement zugeordnete Magnetisierungsvorrichtung. Diese Magnetisierungsvorrichtung kann dabei zusammen mit dem Sensorelement ein gemeinsames Bauteil

5 bilden (vgl. z. B. DE 195 20 206 A1). Daneben ist es auch möglich, das Sensorelement und Magnetisierungsvorrichtung als getrennte Bauteile ausgeführt sind (vgl. DE 195 20 178 A1 oder DE 195 20 172 A1). In jedem Falle umfaßt das Sensorelement wenigstens ein für ein GMR-Ele-

10 ment typisches Mehrschichtensystem. Der Aufbau eines entsprechenden, in Dünnschichttechnik auf einem Substrat zu erstellenden Mehrschichtensystems ist an sich bekannt (vgl. z. B. EP 0 483 373 A1 oder die DE 42 32 244 A1 oder 42 43 357 A1 oder die WO 94/15223 A1).

Das Mehrschichtensystem weist mindestens eine magnetische verhältnismäßig harte Biasschicht oder eine mehrere Schichten umfassende Biasschichtanordnung auf, mindestens eine darauf aufgebrachte, entkoppelnd wirkende Zwischenschicht sowie mindestens eine auf dieser Schicht abgeschiedene magnetfeldempfindliche, magnetisch möglichst weiche Meßschicht auf. An dem Mehrschichtensystem sind Anschlußkontakte zum Führen eines vorgesehenen Stroms über das System angebracht. Dieser Aufbau kann noch mit einer Schutzschicht überzogen sein.

20 Vorteilhaft kann der schichtförmige Aufbau des GMR-Mehrschichtensystems auch als sogenanntes Multischichtensystem ausgeführt sein. Ein solches System zeichnet sich dadurch aus, daß es neben dem vorstehend erläuterten Schichtensystem noch weitere Schichten oder Schichtpakete 25 enthält und gegebenenfalls eine Folge von periodisch wiederkehrenden Schichten besitzt (vgl. z. B. WO 94/15223 A1).

Der Widerstand eines solchen GMR-Mehrschichtensystems hängt dann von der relativen Orientierung der Magnetisierung der Meßschicht gegenüber der der Biasschichtanordnung ab. Die Änderung dieses Widerstandes läßt sich ausnutzen, um die Richtung eines angelegten Magnetfeldes und so z. B. Drehpositionen oder absolute Positionen zu bestimmen (vgl. auch WO 94/17426). Diese Widerstandsänderung legt die Größe  $\Delta R_t$  des magnetoresistiven Effektes fest. Die Größe  $\Delta R_t$  ist dabei folgendermaßen definiert:

$$\Delta R_t = [R(\uparrow\downarrow) - R(\uparrow\uparrow)]/R(\uparrow\uparrow).$$

45 Wegen der Feldrichtungsempfindlichkeit der GMR-Mehrschichtensysteme stellt der magnetoresistive Effekt  $\Delta R_t$  den Unterschied des Widerandes zwischen der antiparallelen und der parallelen Magnetisierungsausrichtung der Meßschicht bezüglich der Biasschicht bzw. einer entsprechenden Biasschichtanordnung dar. In der vorstehend aufgeführten Gleichung ist die gegenseitige Ausrichtung der Magnetisierung der Meßschicht und der Biasschicht durch die Ausrichtung der Pfeile veranschaulicht. Im allgemeinen wird ein magnetoresistiver Effekt als GMR-Effekt angesehen, wenn die Größe  $\Delta R_t$  mindestens 2% (bei Raumtemperatur) beträgt und insbesondere erheblich darüber liegt.

Nachfolgend sei davon ausgegangen, daß ein Mehrschichtensystem aufweisende magnetoresistive Sensorelemente als GMR-Sensorelemente mit GMR-Effekt zu betrachten 50 sind, wenn sie alternierend magnetische und nicht-magnetische Schichten aufweisen, wobei deren Schichtdicken kleiner als die mittlere freie Weglänge der Elektronen sind. Entsprechende Sensorelemente, deren Mehrschichtensysteme magnetisch härtere zusammen mit magnetisch weicheren Schichten umfassen, werden vielfach auch als "Spin Valve" (Spin-Ventil) bezeichnet.

55 Die Biasschichten solcher GMR-Mehrschichtensysteme sollen eine möglichst einheitliche Magnetisierung in einer

vorbestimmten Richtung aufweisen. Die entsprechende Einstellung wird erschwert durch die Rotationshysterese. Dies ist vor allem der Fall bei der Einstellung von Systemen mit künstlichem Antiferromagneten (vgl. die genannte WO 94/15223 A1), in denen sich mehrere ferromagnetische Schichten in unterschiedliche Richtung orientieren müssen. Aus den Diagrammen der Fig. 1 und 2 ist dies erkennbar. In diesen Diagrammen ist jeweils in Abszissenrichtung die Feldstärke  $H$  (in willkürlichen Einheiten) und in Ordinatenrichtung die magnetische Induktion  $M$  (in willkürlichen Einheiten) aufgetragen. Als Mehrschichtensystem ist ein System mit einem künstlichen Antiferromagneten zugrundegelegt, das in seiner einfachsten Ausführungsform zwei ferromagnetische Schichten aufweist, die über eine nichtmagnetische Zwischenschicht gekoppelt sind. Für die Diagramme der Fig. 1 und 2 ist jedoch ein Mehrschichtensystem 30 mit einem künstlichen Antiferromagneten AAF ("Artificial Antiferromagnet") angenommen, der drei ferromagnetische (Bias-) Schichten 1, 2 und 3 aufweist, zwischen denen jeweils eine nicht-magnetische Koppelschicht 31 bzw. 32 angeordnet ist. Die Schichten 1 bis 3 bestehen aus verhältnismäßig hartmagnetischem Material wie z. B. Co und die Koppelschichten 31 und 32 z. B. aus Cu. Dem künstlichen Antiferromagneten AAF sind beidseitig zwei äußere weichmagnetische Meßschichten 33 und 34 z. B. aus Ni-Fe (wie "Permalloy") zugeordnet, die jeweils von dem künstlichen Antiferromagneten AAF über entkoppelnde Zwischenschichten 35 und 36 z. B. aus Cu getrennt sind. Für ein entsprechendes Magnetschichtensystem muß es eine Unbilanz in den magnetischen Momenten der drei Magnetschichten 1 bis 3 geben. Dabei sei nachfolgend angenommen, daß gilt:

$$D_1 M_1 + D_3 M_3 > D_2 M_2$$

mit  $D_1 \cong D_3$ .

$M_i$  und  $D_i$  sind die Sättigungsmagnetisierung bzw. Dicke der Magnetschicht  $i$ . In Fig. 1 ist die Idealkurve ohne Rotationshysterese dargestellt. Dabei sind die magnetischen Momente der einzelnen Magnetschichten durch Pfeile mit der jeweiligen Nummer der Schicht angedeutet. Auf der Idealkurve gibt es zwei charakteristische Feldstärkewerte  $H_p$  und  $H_s$ , die den schrägen Teil der Hysteresiskurve begrenzen. Die Werte sind für Systeme mit isotropen Materialien bzw. isotropem Verhalten durch folgende Ausdrücke bestimmt:

$$H_s = -J (2D_1 M_1 + D_2 M_2) / (D_1 M_1 D_2 M_2)$$

$$H_p = -J (2D_1 M_1 - D_2 M_2) / (D_1 M_1 D_2 M_2)$$

J ist dabei die magnetische Polarisation. Zu bedenken ist hierbei, daß Biassysteme ohne Rotationshysterese zwecklos sind, weil sie keine Stabilität der Biasschichtmagnetisierung bieten. An der gezeigten Hysteresiskurve ist ferner an dem Feldstärkewert  $H_s$  angegeben, daß bei der magnetischen Sättigung eine parallele Magnetisierungsausrichtung aller drei Magnetschichten 1 bis 3 des Mehrschichtensystems vorhanden ist. Demgegenüber ist bei einem Feldstärkewert  $H_p$ , der betragsmäßig kleiner als  $|H_s|$  ist, die Magnetisierungsrichtung der mittleren ferromagnetischen Schicht 2 gegenüber den beiden äußeren Magnetschichten 1 und 3 antiparallel verlaufend. Zwischen den Werten  $H = 0$  und  $H = H_p$  verläuft die Hysteresiskurve annähernd plateaumäßig.

In dem Diagramm der Fig. 2 ist ein Magnetfeldbereich A angedeutet, in dem ein entsprechendes Mehrschichtensystem stabil arbeiten kann. Wie aus einem Vergleich der Diagramme der Fig. 1 und 2 hervorgeht, ist eine Rotationshysterese notwendig. Dabei ist der Arbeitsbereich A durch die Plateauwerte  $|H_p|$  begrenzt, wo die Magnetisierung der mitt-

leren Schicht derjenigen der äußeren Schichten entgegengesetzt gerichtet ist. In dem Plateau sollten die Momente der Biasschichten zumindest annähernd genau parallel zum Einstellfeld ausgerichtet sein. Eine schematische Darstellung der Orientierung der Momente im Fall der Rotationshysterese ist in der Figur ebenfalls angedeutet. Die Rotationshysterese bedingt dabei, daß die Magnetisierungen der Biasschichten nicht einheitlich sind und in dem Arbeitsbereich von der Idealeinstellung abweichen. D. h., das Magnetschichtensystem befindet sich zunächst nicht in einem Zustand minimaler Energie.

Um diesen Zustand minimaler Energie zu erreichen, wird zur Einstellung der Magnetisierung der Biasschichten zusätzlich ein magnetisches Wechselfeld mit abnehmender Amplitude angelegt. D. h., das magnetische Einstellfeld weist ein Grundfeld auf, das zusätzlich von einem Wechselfeld (= Zusatzfeld) überlagert wird. Beide Felder sollen dabei in an sich bekannter Weise von einem vorbestimmten Maximalwert auf Null abklingen. Dabei ist es vorteilhaft, wenn das Wechselfeld zumindest annähernd senkrecht zum Grundfeld gerichtet ist. Auf alle Fälle sollten aber die Richtungen des Wechselfeldes und des Grundfeldes gegenüber einer parallelen oder antiparallelen Ausrichtung einen Winkel  $\gamma$  von mindestens  $30^\circ$  einschließen. In den Fig. 3 und 4 sind entsprechende  $90^\circ$ -Feldausrichtungen zugrundegelegt. Die Figuren zeigen zwei verschiedene Möglichkeiten der Überlagerung der beiden Feldkomponenten, wobei das Grundfeld mit  $H_g$ , das Wechsel- oder Zusatzfeld mit  $H_z$  und die Feldstärkeamplitude des Zusatzfeldes mit  $h$  bezeichnet sind.

Gemäß Fig. 3 klingt das Grundfeld  $H_g$  von einem Wert oberhalb  $H_g$  bis zu einem Wert unterhalb von  $H_p$  (vgl. Fig. 1 und 2). Das Wechselfeld  $H_z$  ist Null während dieser Phase. Zwischen einem Zeitpunkt  $t = t_1$  und einem Zeitpunkt  $t = t_2$  ist das Grundfeld  $H_g$  konstant und das zusätzliche Wechselfeld  $H_z$  wird eingeschaltet. Nach dem Abklingen des Wechselfeldes  $H_z$  wird dann  $H_g$  auf Null reduziert.

Fig. 4 zeigt eine weitere Möglichkeit. In diesem Fall ist das Wechselfeld  $H_z$  schon während der Abklingphase des Grundfeldes  $H_g$  eingeschaltet.

Magnetisierungsvorrichtungen gemäß den Fig. 3 und 4 erfordern also zwei getrennte Feldquellen zur Erzeugung des Grundfeldes und des Wechselfeldes (= Zusatzfeld) des magnetischen Einstellfeldes.

Bei den vorstehend zugrundegelegten Ausführungsbeispielen wurde davon ausgegangen, daß die Biasschicht oder Biasschichtanordnung eines einzigen GMR-Mehrshichtensystems mittels eines magnetischen Grundfeldes zu magnetisieren ist, das von einem zusätzlichen magnetischen Wechselfeld überlagert ist. Selbstverständlich können in entsprechender Weise auch mehrere GMR-Mehrshichtensysteme gleichzeitig magnetisiert werden. Fig. 5 zeigt ein Ausführungsbeispiel einer entsprechenden Magnetisierungsvorrichtung, mit der gleichzeitig in mehrere Mehrshichtensystemen antiparallele Biasschichtmagnetisierungen einzuprägen sind. Dabei wird von einer Wheatstone'schen Brücke B mit vier jeweils mindestens einem GMR-Mehrshichtensystem aufweisenden Sensorelementen  $E_1$  bis  $E_4$  gemäß der genannten DE 195 20 178 A1 ausgegangen. Die vier streifenförmig gestalteten Sensorelemente  $E_1$  bis  $E_4$  sind parallel nebeneinander auf einem gemeinsamen Substrat 4 angeordnet. Sie können vorzugsweise gleichen Schichtaufbau und gleiche Geometrie haben. Untereinander und mit Kontaktierungsflächen sind diese Sensorelemente an Anschlußpunkten  $C_1$ ,  $C_2$  und  $U_1$ ,  $U_2$ , sogenannten Kontaktspuren, mittels Kontaktbahnen 5 zu der Brücke B verschaltet. Jedem Sensorelement  $E_j$  ist eine Leiterbahn  $L_j$  (mit  $1 \leq j \leq 4$ ) an der Unterseite eines Leiterbahnträgers 7 einer allgemein mit 8

bezeichneten Magnetisierungsvorrichtung 8 zugeordnet. Diese Leiterbahnen  $L_j$  können zusätzlich mit einer Isolatorschicht 9 versehen sein, um Kurzschlüsse zwischen benachbarten Leiterbahnen auszuschließen. Die Lage der einzelnen Leiterbahnen  $L_j$  an dem Leiterbahnträger 7 ist dabei so gewählt, daß bei einem Heranführen der Magnetisierungsvorrichtung 8 an die Sensorelemente  $E_j$  die einzelnen Leiterbahnen  $L_j$  genau parallel zu den jeweils zugeordneten Sensorelementen  $E_j$  unter Einhaltung eines sehr geringen Abstandes  $a$  verlaufen. Die einzelnen Leiterbahnen  $L_1$  bis  $L_4$  mit beispielsweise gleichen Leiterbahnbreiten  $b_i$  sind von (ersten) Einstellströmen  $I_{e1}$  bis  $I_{e4}$  in den durch Pfeile angeordneten Stromflußrichtungen durchflossen. Wie aus der Figur hervorgeht, verlaufen die Einstellströme  $I_{e1}$  und  $I_{e4}$  in die gleiche Richtung und antiparallel zu den Einstellströmen  $I_{e1}$  und  $I_{e2}$ . Mit den einzelnen Einstellströmen  $I_{e1}$  wird in den zugeordneten Sensorelementen  $E_j$  das jeweilige magnetische Grundfeld  $H_g$  des Einstellfeldes erzeugt. Das erfundungsgemäße, oszillierende magnetische Zusatzfeld  $H_z$  soll vorzugsweise orthogonal zu den durch die (ersten) Einstellströme hervorgerufenen Grundfeldern verlaufen. Es wird in entsprechender Weise durch besondere Leiterbahnen  $L_z$  erzeugt, die mit den Leiterbahnen  $L_j$  einen entsprechenden Winkel  $\delta$  von vorzugsweise  $90^\circ$  einschließen. Von diesen Leiterbahnen  $L_z$  ist in der Figur nur eine einzige angedeutet, die die Leiterbahnen  $L_j$  unter dem rechten Winkel  $\delta$  kreuzt. In dieser Leiterbahn  $L_z$  wird ein das oszillierende Wechselfeld  $H_z$  hervorrufender (zweiter) Einstellstrom  $I_{ez}$  geführt.

Fig. 6 zeigt eine an sich bekannte Ausführungsform (vgl. z. B. die DE 195 07 303 A1) für ein Sensorelement einer erfundungsgemäßen Einrichtung. Dieses Element setzt sich aus mehreren, in Führungsrichtung eines Sensorstromes  $I_0$  langgestreckten, streifenförmigen Teilstücken  $e_a$  eines GMR-Mehrschichtensystems zusammen. Diese gemäß Fig. 6 beispielsweise fünf Teilstücke haben jeweils eine vorbestimmte axiale Ausdehnung  $S_a$  und eine vorbestimmte Breite  $B_a$  und sind parallel nebeneinander unter Ausbildung eines gegenseitigen Zwischenraums der Weite  $w$  angeordnet. Sie sind in Stromführungsrichtung gesehen mäanderförmig mittels Kontaktbrücken  $k$  hintereinandergeschaltet, wobei diese Kontaktbrücken vorteilhaft von den Enden der Teilstücke  $e_a$  abstandet sind. Die Kontaktbrücken lassen sich dadurch realisieren, daß sowohl die Teilstücke als auch die Kontaktbrücken durch entsprechende Strukturierung, beispielsweise mittels Elektronenstrahlolithographie, aus einem gemeinsamen flächenhaften Schichtaufbau eines GMR-Mehrschichtensystems herausgearbeitet werden. In der Figur sind ferner unmagnetische Stromanschlußbahnen des Sensorelements  $E_j$  mit 10 sowie die Magnetisierungsbzw. Bezugsrichtungen der Biasschichten der einzelnen Teilstücke mit  $m_a$  bezeichnet. Die Vorteile der in der Figur angedeuteten Ausführungsform sind zum einen darin zu sehen, daß ein gewünschtes Impedanzniveau von einigen  $k\Omega$  erreichbar ist. Zum anderen läßt sich durch eine vorbestimmte Geometrie und durch eine aufgeprägte Vorzugsrichtung in den Meßschichten ein isotropes Magnetisierungsverhalten einstellen. Ein weiterer Vorteil der gezeigten Geometrie ist, daß die Streifenform zu einer Stabilisierung der Magnetisierung in den Biasschichten beitragen kann.

Bei Sensorelementen einer erfundungsgemäßen Einrichtung müssen in ihren Biasschichten oder Biasschichtanordnungen auf engem Raum Magnetisierungen mit verschiedener Ausrichtung eingeprägt werden können. Vorteilhaft lassen sich hierzu nicht nur Magnetisierungsvorrichtungen gemäß der DE 195 20 178 A1 (vgl. Fig. 5) vorsehen, sondern auch Ausführungsformen, die auf Gestaltungsmerkmalen gemäß der DE 195 20 172 A1 oder DE 195 20 206 A1 basieren. Ihre Stromleiterbahnen können demnach entweder

direkt oder isoliert auf dem jeweiligen Mehrschichtensystem aufgebracht und mit diesem verbunden sein oder auch getrennt von diesem Mehrschichtensystem oberhalb diesem positioniert werden. Eine mögliche Ausführungsform entsprechender Leiterbahnen, wie sie für alle der genannten Magnetisierungsvorrichtungen geeignet ist, ist in Fig. 7 dargestellt. Dabei ist davon ausgegangen, daß in zwei Gruppen G1 und G2 von in der Figur nicht dargestellten Sensorelementen, wie sie insbesondere für  $360^\circ$ -Winkeldetektoren erforderlich sind, Magnetisierungen eingeprägt werden sollen, wobei die Magnetisierungsrichtung der Elemente der ersten Gruppe orthogonal zu der Magnetisierungsrichtung der zweiten Gruppe verläuft. Entsprechend magnetisierte Sensorelemente sind beispielsweise für  $360^\circ$ -Winkeldetektoren erforderlich. Jedes Sensorelement soll dabei entsprechend der Ausführungsform nach Fig. 6 ausgebildet sein. Jeweils zwei hintereinandergeschaltete Sensorelemente weisen senkrecht zueinander stehende Magnetisierungen auf. In der Figur sind von einer Magnetisierungsvorrichtung 11 vier Stromleiterbahnen 12<sub>j</sub> ersichtlich, welche die Mehrschichtensysteme der einzelnen Sensorelemente abdecken. Die Stromleiterbahnen 12<sub>j</sub> weisen dabei im Bereich der einzelnen Sensorelemente Streifenleiter 12a auf, die jeweils oberhalb eines zugeordneten Teilstückes ( $e_a$  gemäß Fig. 6) eines Sensorelementes verlaufen. Im Bereich der Sensorelemente sind die Streifenleiter 12a parallelgeschaltet. Der über die Stromleiterbahn  $z$  führende (erste) Einstellstrom zur Erzeugung der jeweiligen magnetischen Grundfelder ist mit  $I_{ej}$  bezeichnet.

Zur Erzeugung des magnetischen Zusatzfeldes ist eine entsprechende zusätzliche Leitergeometrie erforderlich. Fig. 8 zeigt dementsprechend eine entsprechende Ausführungsform von orthogonal zueinander verlaufenden Stromleiterbahn 12<sub>j</sub> zur Grundfelderzeugung und 13<sub>j</sub> zur Zusatzerzeugung.

Bei der in Fig. 8 angedeuteten Ausführungsform einer Magnetisierungsvorrichtung 11 mit zwei orthogonalen Stromleiterbahnen 12<sub>j</sub> und 13<sub>j</sub> kann das Problem auftreten, daß im Bereich der Verbindungsstellen zwischen den einzelnen Sensorelementen die Stromdichte verhältnismäßig groß ist. Dann sind aber die maximal erreichbaren Stromdichten und folglich die maximal erreichbaren Feldstärken entsprechend gering. Die Ursache hierfür ist in der Stromführung in den genannten Bereichen in zwei orthogonalen Richtungen zu sehen, wobei sich der Strom von verhältnismäßig schmalen streifenförmigen Anschlußstücken 15a bzw. 16a (vgl. die Fig. 7 und 8) rechtwinklig abgeknickt auf die einzelnen Streifenleiter 12a bzw. 13a übergehen muß. Dann ist es vorteilhaft, wenn zumindest bei einer der Stromleiterbahnen 12<sub>j</sub> oder 13<sub>j</sub> der Strom den einzelnen Streifenleitern der Leiterbahn so zugeführt wird, daß er sich zumindest weitgehend gleichmäßig auf alle Streifenleiter 12a bzw. 13a verteilt. Fig. 9 zeigt eine entsprechende mögliche Ausführungsform einer Stromleiterbahn 17<sub>j</sub>, die beispielsweise die Leiterbahn 12<sub>j</sub> ersetzen kann. Diese Stromleiterbahn 17<sub>j</sub> weist Leiterbahnstücke 17a auf, die jeweils schräg unter einem Winkel  $\beta$  von vorzugsweise höchstens  $45^\circ$  an die Teile der Leiterbahn heranführen bzw. in diese Teile übergehen, welche das zugeordnete Sensorelement abdecken. Wegen der dann in den Streifenleitern 12a zumindest weitgehend gleich großen Streifenleiterströme  $I_{ea}$  sind auch die entsprechenden magnetischen Einstellfelder einheitlich stark.

Eine Parallelschaltung einzelner, beispielsweise durch eine Schlitzung gewonnener Streifenleiter von Leiterbahnen 15a zur Erzeugung von Magnetisierungsfeldern kann vorteilhaft auch für andere, verhältnismäßig großflächige Sensorelemente vorgesehen werden. Dadurch läßt sich nämlich prinzipiell gewährleisten, daß bei einer abgeknickten Stromfüh-

rungsrichtung bezüglich der Streifenleiterrichtung (vgl. Fig. 7 und 8) der Strom in die Richtung der einzelnen Streifenleiter und nicht in eine schräg oder diagonal über die Leiterbahn verlaufende Richtung gezwungen wird. Die Magnetisierungsrichtung ist so entsprechend exakt festzulegen.

Die Leiterstücke 17a nehmen bei der Ausführungsform nach Fig. 9 jeweils eine verhältnismäßig große Fläche ein, so daß ein entsprechend großer Teil von z. B. 75% einer die Sensorelemente tragenden Substratfläche für die Anschlußleiter verlorengeht. Eine andere Ausbildungsmöglichkeit, bei der etwa 50% der Substratfläche für die Sensorelemente auszunutzen ist, geht aus Fig. 10 hervor. Hier werden die einzelnen Sensorelemente der Gruppen G1 und G2 (vgl. Fig. 7) schachbrettartig auf einem Substrat angeordnet. Die durch eine dunklere Tönung symbolisierten Sensorelemente der ersten Gruppe G1 sind dabei mit  $E_j$  und der zweiten Gruppe G2 mit  $E'_j$  gekennzeichnet. Die zugehörige Magnetisierungsvorrichtung 21 überdeckt diese Sensorelemente mit Leiterbahnen in zwei Ebenen. Die einzelnen Leiterbahnen für die Grundfelderzeugung sind mit 21a und 21'a bezeichnet, wobei die mit dem Zusatzstrich () versehenen Bezugssymbole jeweils die Zuordnung zu den Elementen  $E_j$  kennzeichnen. In entsprechender Weise dienen Leiterbahnen 21b und 21'b zur Zusatzfelderzeugung. Die Leiterbahnen 21a und 21'b liegen dabei in einer ersten Leiterbahnenebene und sind durch eine dunklere Schraffur gekennzeichnet, während sich die übrigen Leiterbahnen 21'a und 21b in der darüberliegenden zweiten Leiterbahnebene befinden.

Mit entsprechenden Gruppen G1 und G2 läßt sich auf einfache Weise eine Wheatstone'sche Brücke realisieren. Die vier Elemente einer solche Brücke werden vorteilhaft nebeneinander angeordnet. Die zwei Paare von gleichen Sensorelementen haben entgegengesetztes Vorzeichen ihrer Empfindlichkeit, indem man die Biasschichtmagnetisierung von benachbarten Elementen entgegengesetzt ausrichtet. Dies wird erreicht, indem man den Strom von benachbarten Einstelleiterbahnen entgegengesetzt wählt und die Streifenleiter mäanderförmig anordnet. Eine mögliche Gestaltungsform eines entsprechenden Sensors unter Zugrundelegung von Streifenleiterrometriem gemäß den Fig. 8 und 10 ist in Fig. 11 dargestellt. Hierbei werden vorteilhaft Kreuzungen von Signalleitungen vermieden. In der Figur ist eine Brücke B gemäß Fig. 5 jedoch mit linear hintereinander angeordneten Sensorelementen angedeutet, wobei die zur Gruppe G1 gehörenden Sensorelemente  $E_1$  und  $E_4$  in einer dunkleren Tönung als die zur Gruppe G2 gehörenden Sensorelemente  $E_3$  und  $E_2$  veranschaulicht sind. Die sich mit den Sensorelementen abwechselnden Kontaktflächen  $U_1$ ,  $U_2$ ,  $C_1$ ,  $C_2$  sind jeweils schwarz getönt wiedergegeben. Eine zweite, entsprechend dargestellte Brücke, wie sie vorteilhaft für einen 360°-Winkelsensor zu verwenden ist, trägt das Bezugssymbol B'.

#### Patentansprüche

##### 1. Einrichtung mit

- a) mit mindestens einem Sensorelement zur Erfassung der Richtung eines äußeren Magnetfeldes, wobei das Sensorelement einen sehr großen magnetoresistiven Effekt (GMR) zeigendes Mehrschichtensystem mit
  - mindestens einer weichmagnetischen Meßschicht,
  - mindestens einer Biasschicht, die gegenüber der mindestens einen Meßschicht vergleichsweise magnetisch härter ist und deren Magnetisierungsrichtung einstellbar ist,

sowie

- mindestens einer zwischen der mindestens einen Meßschicht und der mindestens einen Biasschicht angeordneten, nichtmagnetischen Zwischenschicht

aufweist

und

b) mit einer dem mindestens einen Sensorelement zugeordneten Magnetisierungsvorrichtung zur Erzeugung eines die Magnetisierung der mindestens einen Biasschicht in einer Vorfahrtsrichtung einprägenden magnetischen Einstellfeldes, das sich aus einem magnetischen Grundfeld und einem magnetischen Zusatzfeld zusammensetzt und von einem über die Sättigungsmagnetisierung der mindestens einen Biasschicht hinausgehenden Feldstärkewert aus abklingend einstellbar ist, wobei die Magnetisierungsvorrichtung eine einen Einstellstrom führende Leiterbahn zur Erzeugung des magnetischen Grundfeldes sowie Mittel zur Erzeugung des magnetischen Zusatzfeldes umfaßt,

dadurch gekennzeichnet, daß die Magnetisierungsvorrichtung (8, 11, 21) neben einer einen ersten Einstellstrom ( $I_{ej}$ ) zur Grundfelderzeugung ( $H_g$ ) führenden ersten Leiterbahn ( $L_j$ , 12 $_j$ ) eine einen zweiten Einstellstrom ( $I_{ez}$ ) führende zweite Leiterbahn ( $L_z$ , 13 $_z$ ) zur Erzeugung eines innerhalb der Abklingzeit des Grundfeldes mitoszillierender Feldstärkeamplitude von einem Maximalwert auf Null abklingenden Zusatzfeldes ( $H_z$ ) enthält, wobei die beiden Leiterbahnen so angeordnet sind, daß sich ihre Stromführungsrichtungen unter einem Winkel ( $\delta$ ) ungleich 0° oder ungleich 180° kreuzen.

2. Einrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß wenigstens eine der Leiterbahnen ( $L_j$ ,  $L_z$ ) mit dem ihr zugeordneten Mehrschichtensystem ein gemeinsames Bauteil bildet.

3. Einrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß wenigstens eine der Leiterbahnen ( $L_j$ ,  $L_z$ ) Teil eines von dem Mehrschichtensystem getrennten Bauteiles ist.

4. Einrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß wenigstens eine der Leiterbahnen ( $L_j$ ,  $L_z$ ) zumindest im Bereich des jeweils zugeordneten Sensorelementes ( $E_j$ ,  $E'_j$ ) in mehrere elektrisch parallel geschaltete Leiterstreifen (12a, 13a) unterteilt ist.

5. Einrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß bei wenigstens einer der Leiterbahnen (17 $_j$ ) in den Teil von ihr, der dem jeweiligen Sensorelement ( $E_j$ ,  $E'_j$ ) zugeordnet ist, ein Leiterstück (17a) unter einem Winkel ( $\beta$ ) von höchstens 45° übergeht.

6. Einrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, gekennzeichnet durch Mittel zum Hervorrufen des Zusatzfeldes ( $H_z$ ) nach dem Abklingen des Grundfeldes ( $H_g$ ) auf einen vorbestimmten Zwischenwert ( $H_p$ ) der Feldstärke.

7. Einrichtung nach Anspruch 6, gekennzeichnet durch Mittel zum zumindest annähernd Konstanthalten des Grundfeldes ( $H_g$ ) während der Abklingzeit des Zusatzfeldes ( $H_z$ ) auf dem Zwischenwert ( $H_p$ ) der Feldstärke.

8. Einrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, gekennzeichnet durch Mittel zum Hervorrufen des Zusatzfeldes ( $H_z$ ) zusammen mit dem Grundfeld ( $H_g$ ) mit zumindest annähernd gleichzeitigem Einsatzzeitpunkt der beiden Felder.

9. Einrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß ein Zusatzfeld ( $H_z$ ) hervorzurufen ist, das gegenüber einer parallelen oder anti-parallelen Ausrichtung bezüglich des Grundfeldes ( $H_g$ ) unter einem Winkel ( $\gamma$ ) von mindestens  $30^\circ$  verläuft. 5

10. Einrichtung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß ein zu dem Grundfeld ( $H_g$ ) zumindest annähernd senkrecht gerichtetes Zusatzfeld ( $H_z$ ) hervorzurufen ist.

11. Einrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 10, 10 dadurch gekennzeichnet, daß das mindestens eine Sensorelemente ( $E_j, E_j'$ ) aus mehreren streifenförmigen Teilstücken ( $e_s$ ) zusammengesetzt ist, wobei diese Teilstücke parallel zur Führungsrichtung eines Sensorstromes ( $I_0$ ) nebeneinander angeordnet und mäanderförmig 15 elektrisch hintereinandergeschaltet sind.

12. Einrichtung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Teilstücke ( $e_s$ ) mittels Kontaktbrücken ( $k$ ) hintereinandergeschaltet sind.

13. Einrichtung nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß die Kontaktbrücken ( $k$ ) von den Enden der jeweiligen streifenförmigen Teilstücke ( $e_s$ ) beabstandet sind. 20

14. Einrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 13, gekennzeichnet durch mehrere Sensorelemente ( $E_j, E_j'$ ), 25 die mindestens zu einer Brücke (B) zusammengeschaltet sind.

15. Einrichtung nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß die Brücke (B) Gruppen (G1, G2) von Paaren von Sensorelementen ( $E_1, E_4$  bzw.  $E_3, E_2$ ) aufweist, deren Biasschichten antiparallel magnetisiert sind. 30

16. Einrichtung nach Anspruch 14 oder 15, dadurch gekennzeichnet, daß die Sensorelemente ( $E_j, E_j'$ ) schachbrettartig angeordnet sind, wobei die Elemente 35 jeder Gruppe (G1, G2) eine Zeile oder eine Spalte der Schachbrettanordnung belegen und die zugeordneten Stromleiterbahnen (21a, 21a', 21b, 21b') der Magnetisierungsvorrichtung (21) in Richtung der Zeilen und Spalten verlaufen. 40

17. Einrichtung nach Anspruch 14 oder 15, dadurch gekennzeichnet, daß die Sensorelemente ( $E_1$  bis  $E_4$ ) der mindestens einen Brücke (B) linear hintereinander angeordnet sind.

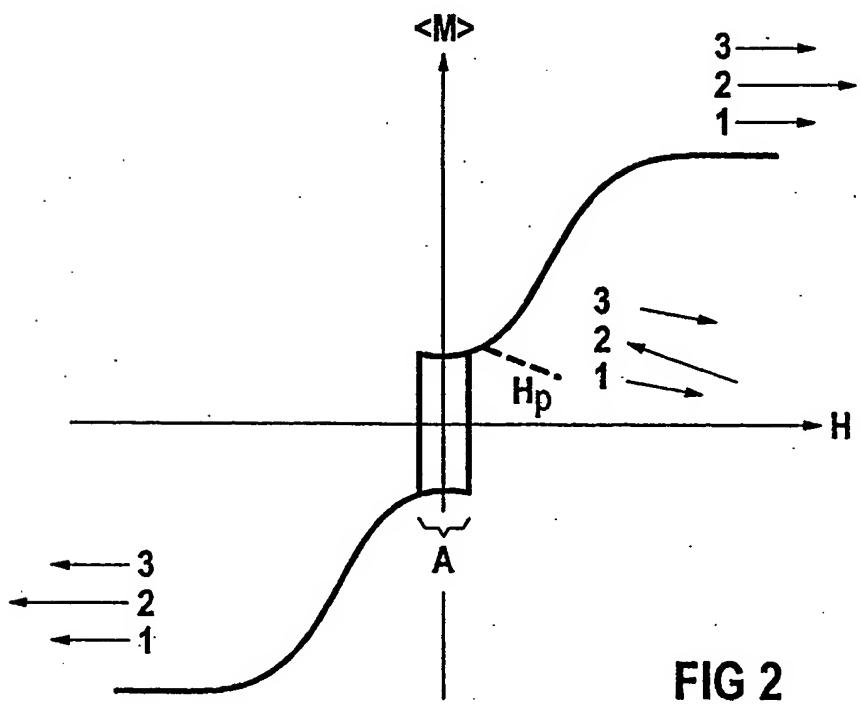
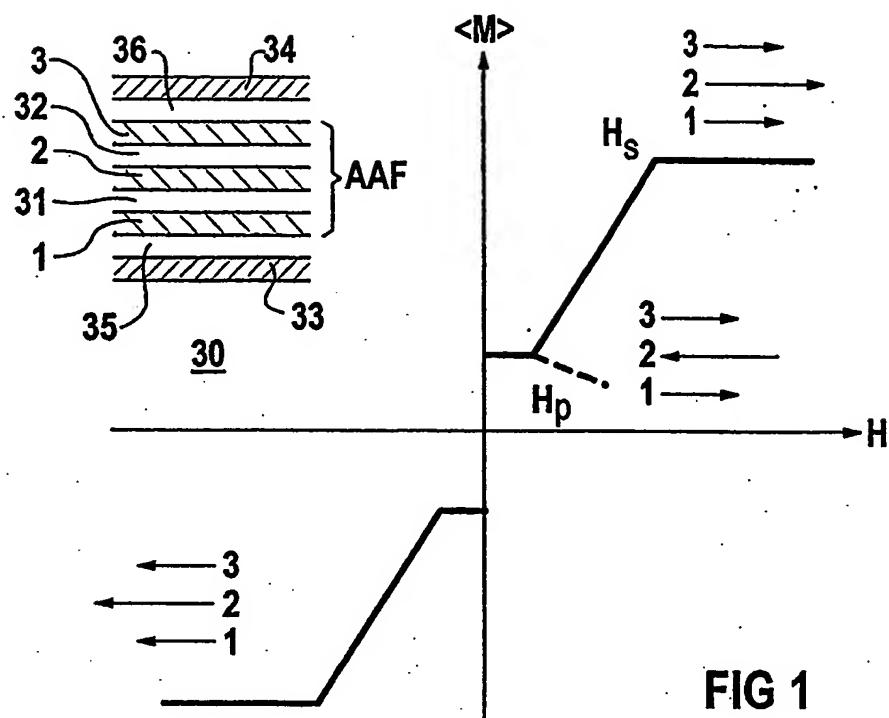
18. Einrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 17, 45 gekennzeichnet durch mehrere Sensorelemente ( $E_j, E_j'$ ) mit gleichem Schichtaufbau ihrer Mehrschichtensysteme (30) und gleicher Geometrie.

19. Einrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 17, dadurch gekennzeichnet, daß die Meßschicht (33, 34) 50 und/oder die mindestens eine Biasschicht (1 bis 3) des Mehrschichtensystems (30) des mindestens einen Sensorelementes ( $E_j, E_j'$ ) aus einem Schichtpaket aus mehreren Schichten gebildet sind.

20. Einrichtung nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, daß das mindestens eine Mehrschichtensystem (30) eine Biasschichtanordnung enthält, die mehrere, einen künstlichen Antiferromagneten (AAF) bildende ferromagnetische Schichten (1 bis 3) mit jeweils einer dazwischen angeordneten, nicht-magnetischen 55 Zwischenschicht (31, 32) aufweist. 60

- Leerseite -

THIS PAGE BLANK (USPTO)



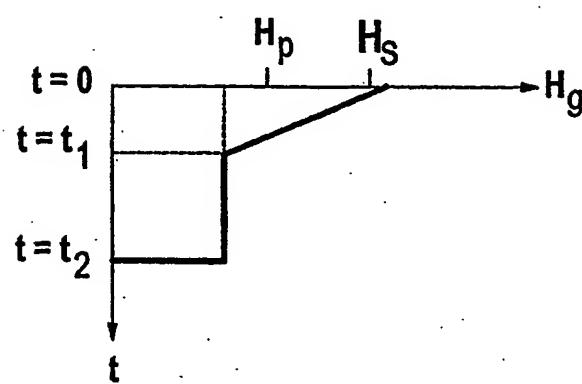
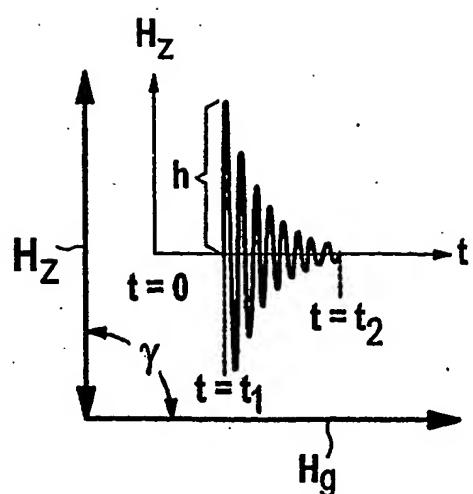


FIG 3

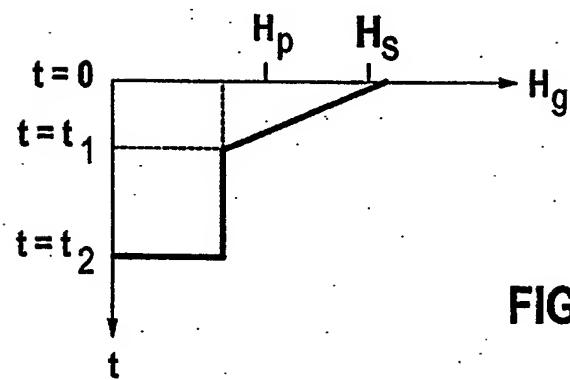
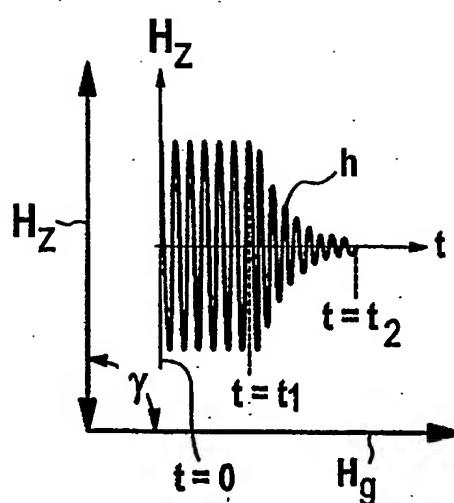
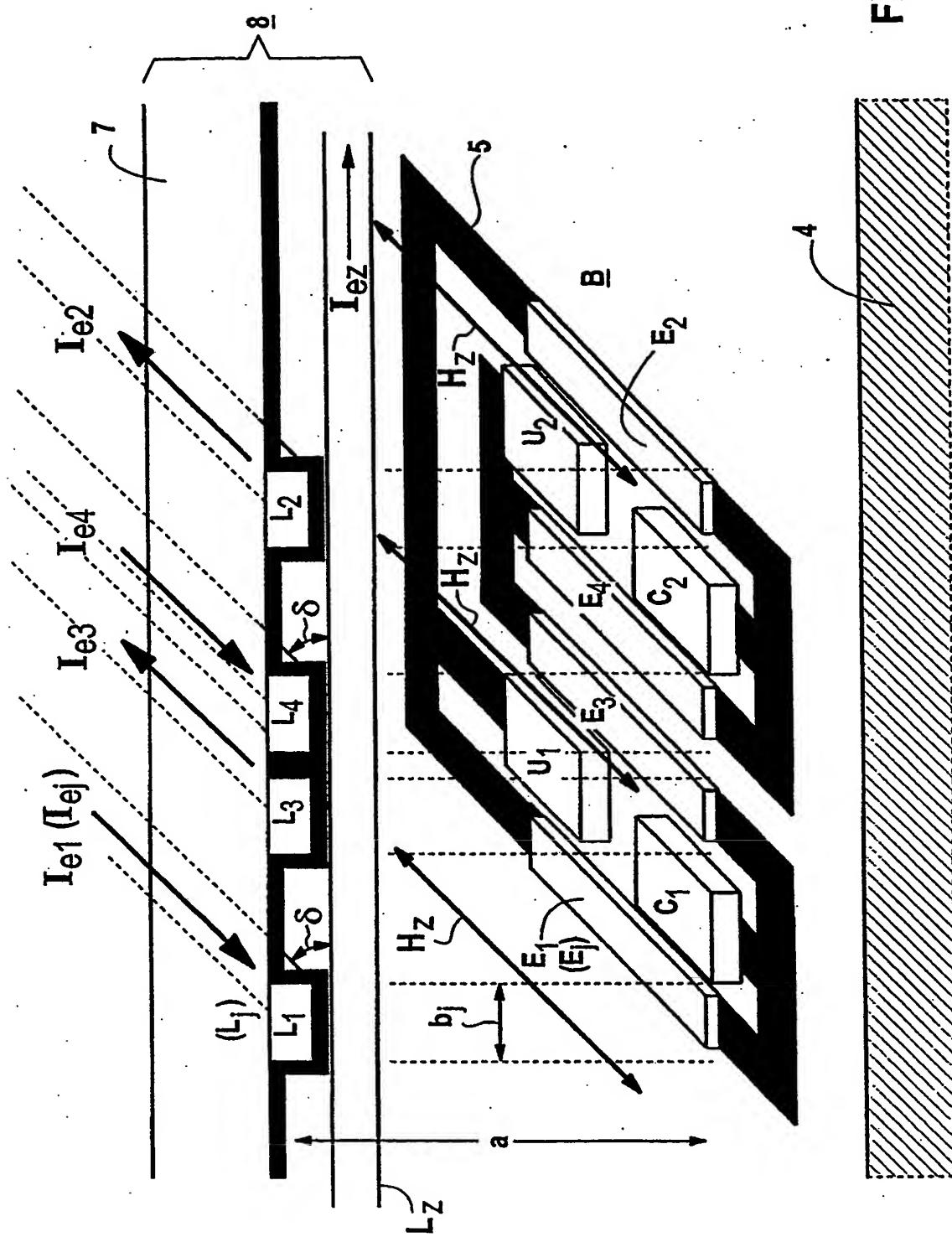


FIG 4

FIG 5



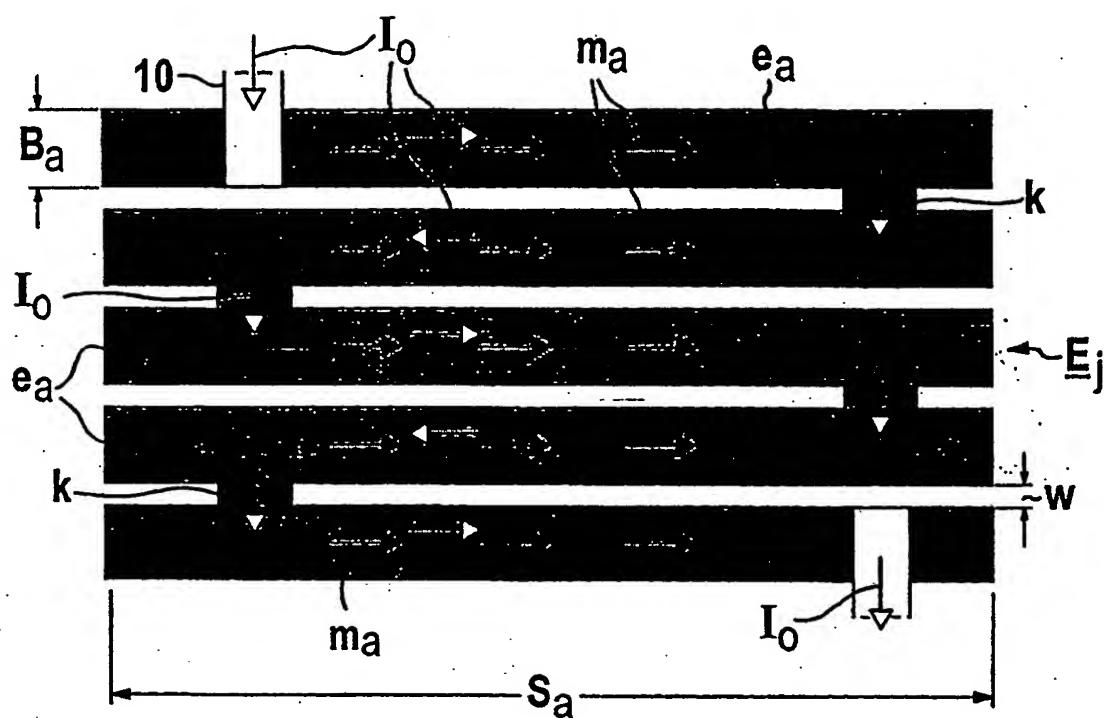


FIG 6

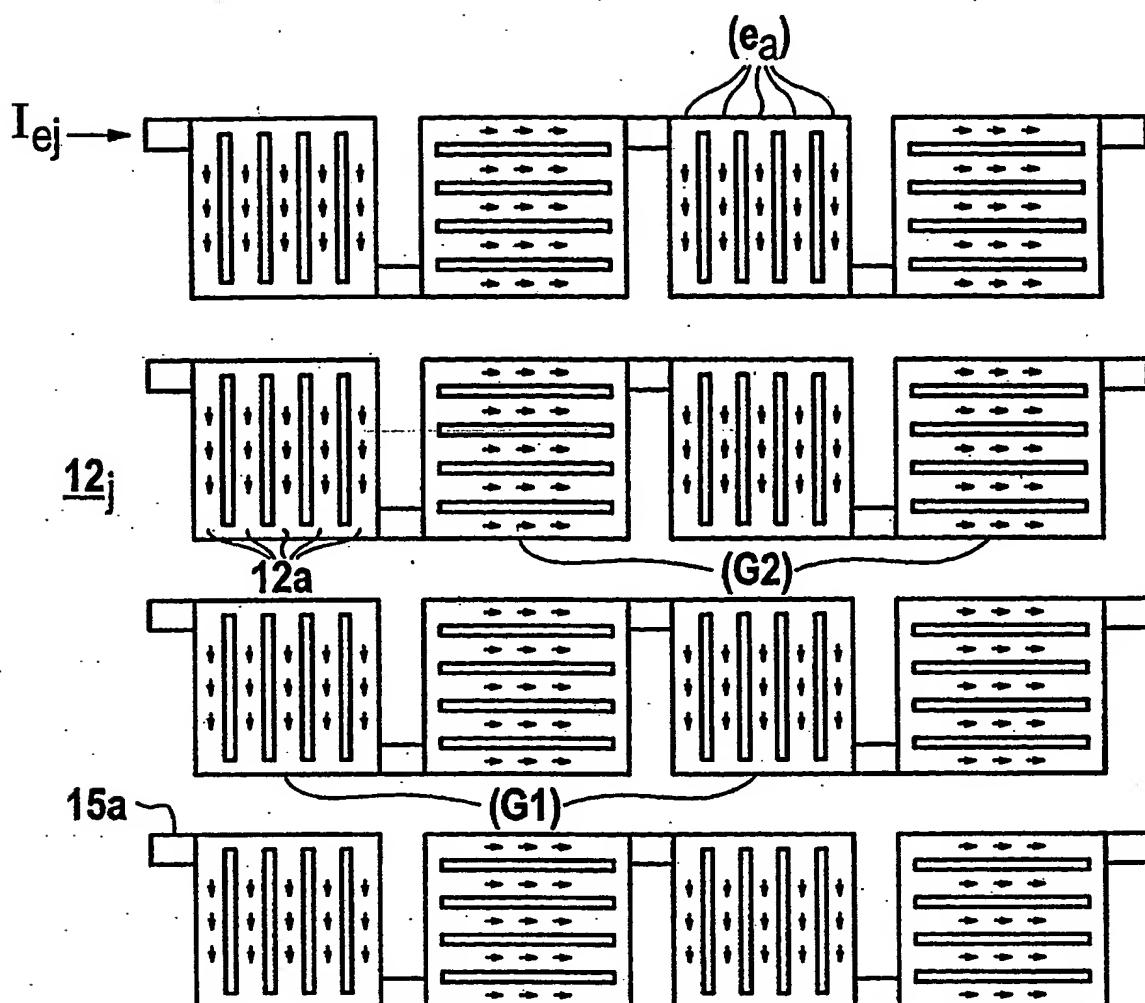


FIG 7

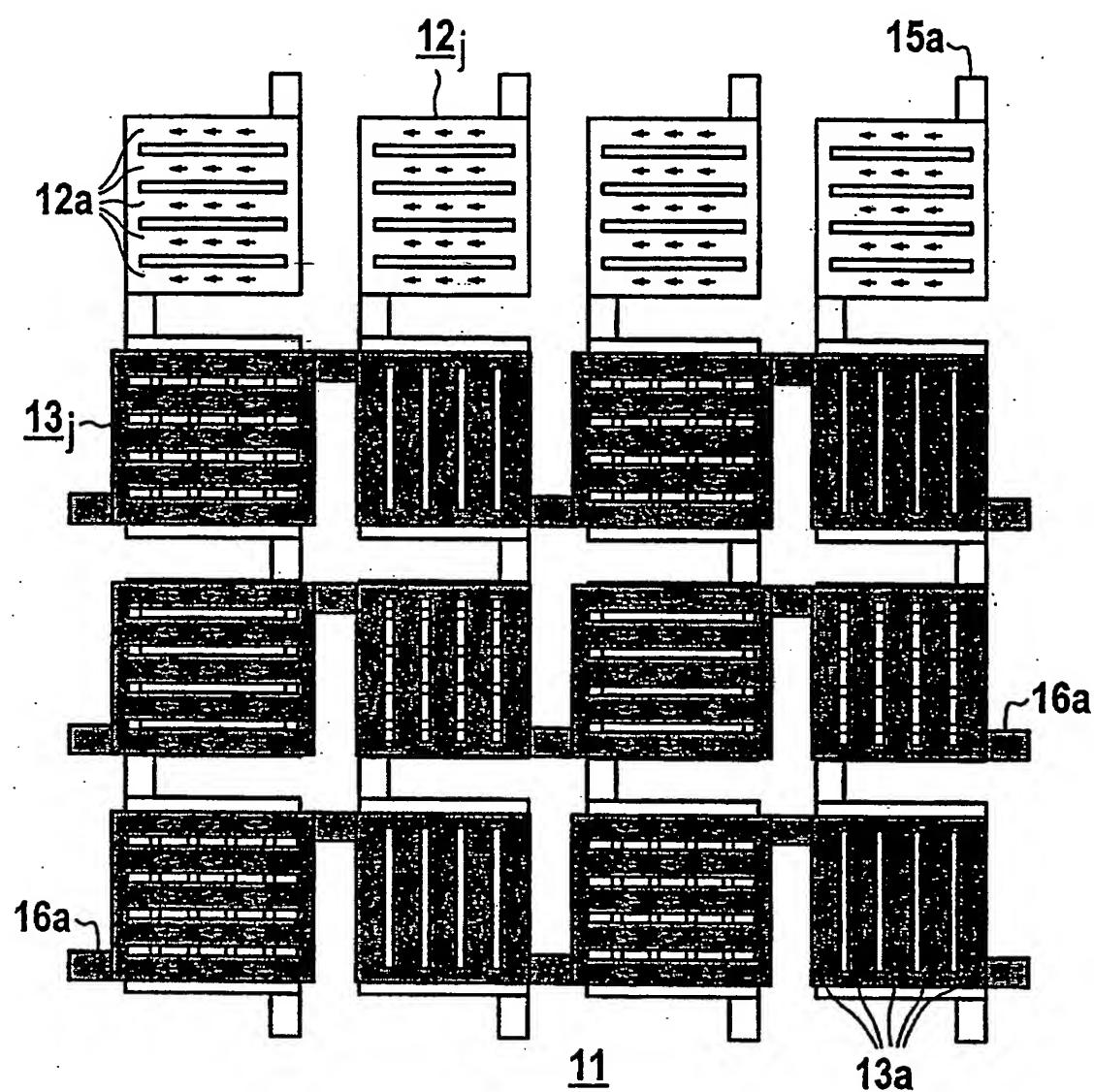


FIG 8

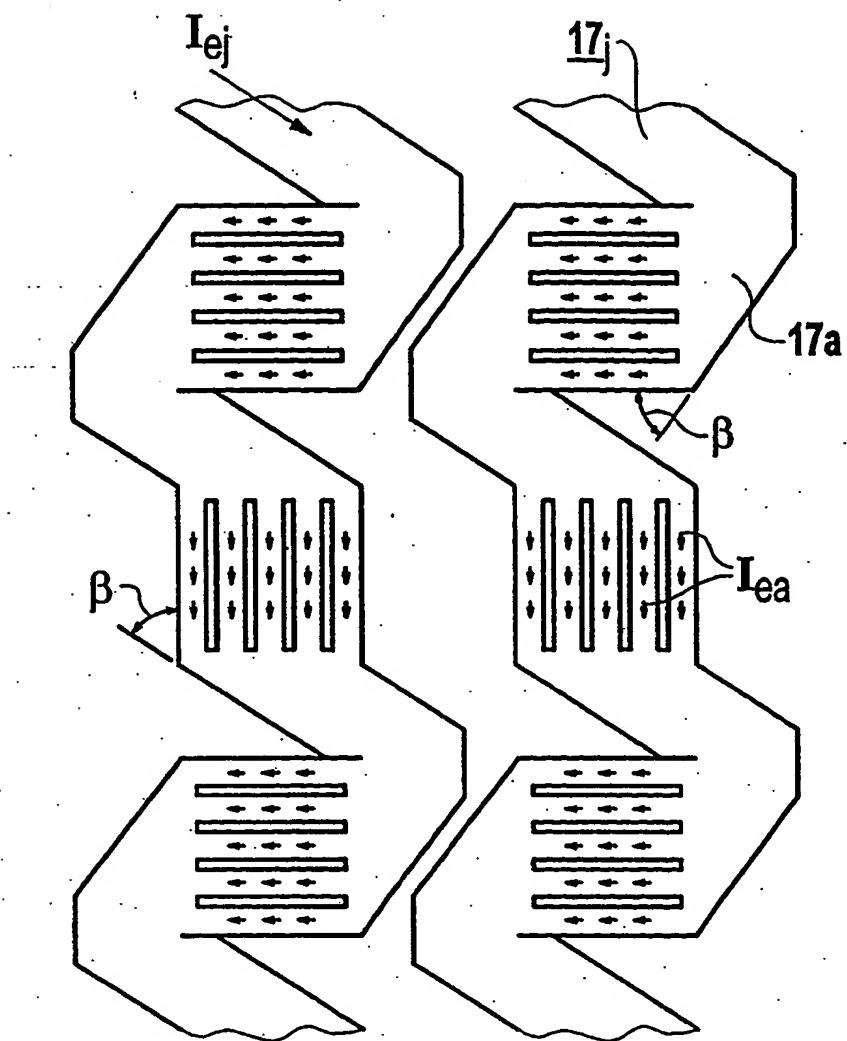


FIG 9

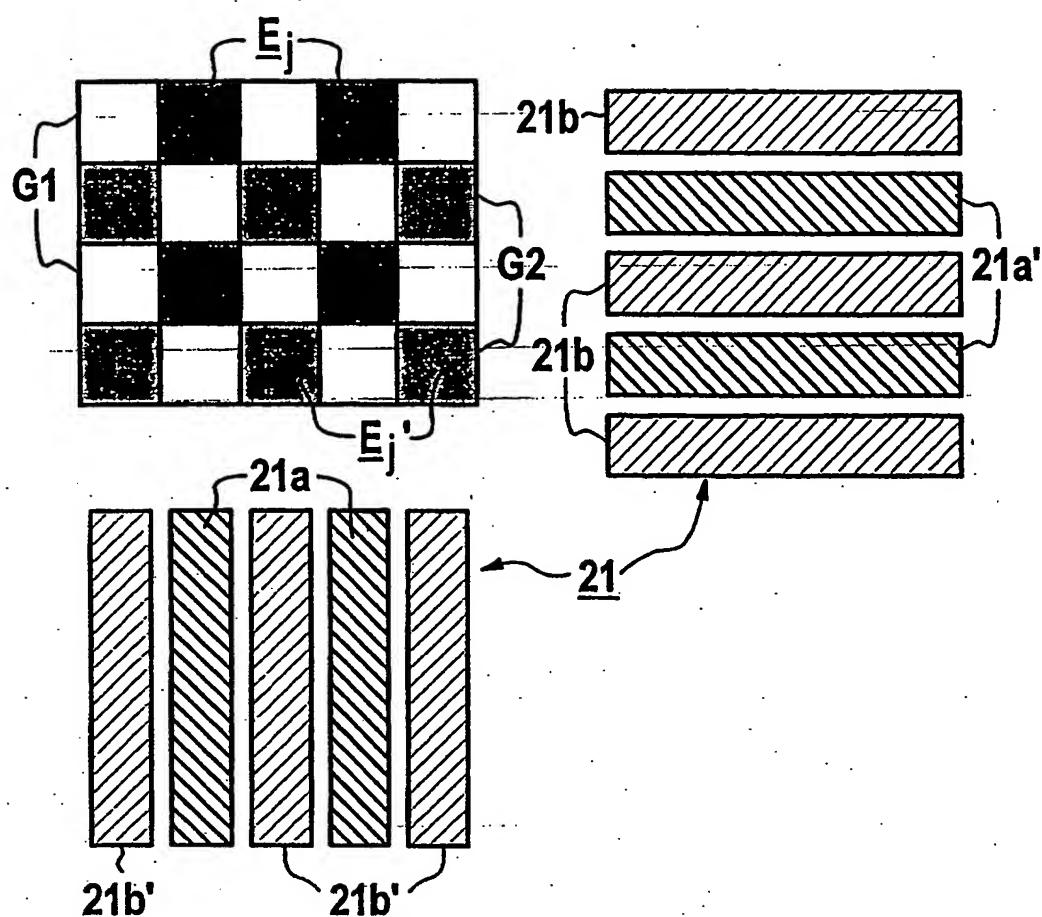


FIG 10

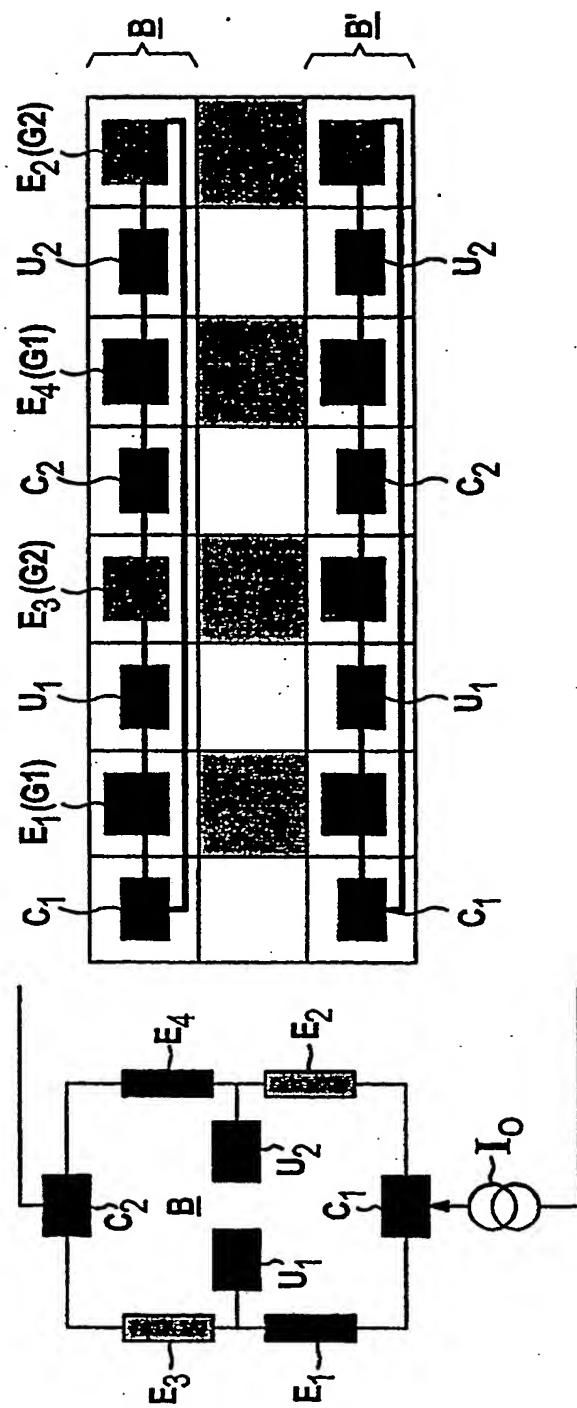


FIG 11

Description

The invention relates to a device including at least one sensor element for detecting the direction of an external magnetic field, wherein the sensor element comprises a multi-layer system exhibiting a very large magnetoresistive effect (GMR) in accordance with the features indicated in the preamble of Claim 1.

A corresponding device including a magnetoresistive sensor and a magnetising device is known from DE 195 20 178 A1.

A dependency of the electrical resistance on the size and the direction of a magnetic field penetrating the material can occur in layers consisting of ferromagnetic transition metals such as Ni, Fe or Co and their alloys. One calls the effect arising from such layers "anisotropic magneto-resistance (AMR)" or an "anisotropic magnetoresistive effect". It is based physically on the different scattering cross sections of electrons of different spin and the spin polarity of the D-Band. The electrons are referred to as majority and minority electrons. A thin layer consisting of such a magnetoresistive material which is magnetized in the plane of the layer is generally provided for corresponding magnetoresistive sensors. The change of resistance when the magnetization is rotated with respect to the direction of a current fed through the sensor can then amount to some per cent of the normal isotropic (= ohmic) resistance.

Furthermore, magnetoresistive multi-layer systems are known which contain a plurality of ferromagnetic layers arranged in a pile which are separated from each other by metallic, non-magnetic intermediate layers and the magnetizations thereof preferably lie in the plane of the layer. Thereby, the thicknesses of the individual layers are selected to be significantly smaller than the length of the mean free path of the conduction electrons. Now in addition to the abovementioned anisotropic magnetoresistive effect AMR, a so-called "giant magnetoresistive effect" or "Giant Magneto-Resistance (GMR)" can occur in such multi-layer systems (c.f. e.g. EP 0 483 373 A1). Such a GMR effect is based on the different amounts of scattering of the majority and minority conduction electrons at the boundary surfaces between the ferromagnetic layers and the intermediate layers adjacent thereto and is also due to the scattering effects within these layers. The GMR effect is thus an isotropic effect. It can be substantially larger than the

anisotropic effect AMR. Generally one speaks of a GMR effect (at ambient temperature), if it adopts values which are significantly above those of AMR mono-layer elements.

In multi-layer systems exhibiting a GMR effect, neighbouring magnetic layers are initially magnetized in a mutually random manner, whereby, for special embodiments, a bias layer or a bias layer arrangement is magnetically harder than a measuring layer which is as magnetically soft as possible. Under the influence of an external, directed magnetic field, i.e. a component of this field which is impressed in the plane of the layer, the magnetization of the soft-magnetic measuring layer is then aligned according to the direction of the magnetic field whilst the alignment of the magnetically harder bias layer remains practically unchanged. The angle between the directions of magnetization of the two layers then determines the resistance of the multi-layer system. This fact is made use of for the corresponding magnetic field sensors.

In a GMR magneto-resistance sensor known from DE 42 43 357 A1, two soft-magnetic measuring layers are provided on both sides of a magnetically harder bias layer, whereby the two measuring layers are spaced in relation to the common bias layer by a non-magnetic intermediate layer. For the purposes of preventing the formation of domains, the basic states of magnetisation of the two measuring layers are offset in different directions of rotational by a small angle in relation to the normal direction of magnetisation of the bias layer so that they include an angle of somewhat less than 180°. This can be achieved by impressing suitable, mutually inclined preferred axes into the corresponding measuring layers.

In a magnetoresistive sensor known from WO 94/15223 A1, the multi-layer system therein exhibits a GMR effect and comprises a magnetic bias layer arrangement which forms a so-called synthetic anti-ferromagnet. Here, the bias layer arrangement contains a first magnetic bias layer which is coupled in anti-ferromagnetic manner to a further magnetic bias layer via a non magnetic coupling layer. This thus prevents a part of the magnetic flux of the one bias layer being closed via the measuring layer. A corresponding synthetic anti-ferromagnet is, to a large extent, outwardly magnetically neutral, i.e. its magnetic field is confined practically entirely between the bias layer and the additional magnetic layer. This thus provides the advantage that the magnetisation of the bias layer is stabilised even in the case of stronger external magnetic fields.

Moreover, for the purposes of increasing the signal strength of a GMR multi-layer system, it is known to provide a periodically repeating sequence of layers (c.f. e.g. DE 42 32 244 A1). The signal strength in similar layer packages then rises monotonously with the number of periods asymptotically up to a maximum value. The number of periods in a corresponding thin layered structure can easily amount to 100 or more.

In such GMR multi-layer systems, which are also called hard-soft systems because of their hard magnetic bias layer or bias layer arrangement and their soft-magnetic measuring layer, the bias layers should have a magnetisation which is as uniform as possible in a pre-determined direction. Appropriate magnetisation can be produced using an e.g. magnetising device derivable from the DE 195 20 178 A1 referred to hereinabove. This device comprises current conducting tracks which are to be positioned above associated GMR multi-layer systems.

Magnetic fields which serve for setting or impressing the magnetizations in the bias layers are then produced by means of electric currents that are to be fed along the current conducting tracks. If these fields which can be regarded as basic magnetic fields are not sufficiently strong, then field strength increasing, auxiliary magnetic fields or additional fields effective in the same direction as the basic fields can additionally be superimposed on these fields with the aid of the known magnetising device.

It has been shown however that such a method of setting the magnetization of a bias layer or a bias layer arrangement in a GMR multi-layer system is made more difficult due to a so-called rotational hysteresis effect. This occurs above all when one is setting multi-layer systems which comprise a synthetic anti-ferromagnet wherein a plurality of layers have to be oriented in different directions. Namely, due to this rotational hysteresis effect, the following deviations from a desired signal behaviour of the multi-layer system have been established in particular:

- 1) The magnetizations of the bias layers are not uniform and are split up into ranges having opposed directions of rotation with respect to an ideal setting.
- 2) A multi-layer system forming a synthetic anti-ferromagnet is therefore not in a state of minimum energy.
- 3) In consequence, the signal sweep of the multi-layer system will be smaller and the characteristic curve of the multi-layer system will deviate from an ideal curve.

The object of the present invention is to design the device having the features specified hereinabove in such a way that one can establish a state of minimum energy in the bias layers or bias layer arrangements of such GMR multi-layer systems.

On the basis of the features indicated in the first part of Claim 1, this object is achieved in that, in addition to a first conductive track carrying a first setting current for producing the basic field, the magnetising device contains a second conductive track carrying a second setting current for producing an auxiliary field having an oscillating field strength amplitude decaying from a maximum value to zero within the decay time of the basic field, whereby the two conductive tracks are so arranged that their directions of current flow cross at an angle which is not equal to  $0^\circ$  or not equal to  $180^\circ$ .

Namely, it has been appreciated that an additional alternating field having a reducing amplitude is suitable for attaining the state of minimum energy in a bias layer or a bias layer arrangement, whereby this additional field is not aligned in the same direction as the basic magnetic field. In the case of a multi-layer system treated in this manner, it is then advantageous that the above mentioned problems due to a rotational hysteresis effect do not occur at all or only to a lesser extent.

Advantageous embodiments of the device according to the invention are apparent from the dependent Claims.

Reference is made hereinafter to the drawing for the further explanation of the invention. In the drawing, illustrated schematically in each case

Figs. 1 and 2 show diagrams of typical hysteresis loops for magnetoresistive multi-layer systems,

Figs. 3 and 4 show diagrams of two different setting fields for a device according to the invention,

Fig. 5 shows a corresponding assembly incorporating a magnetising device for producing both the basic and the auxiliary field for a plurality of sensor elements,

Fig. 6 shows a special embodiment of a sensor element,

Fig. 7 shows the track geometry used for producing the basic field magnetisation of a plurality of sensor elements in accordance with Fig. 6,

Fig. 8 shows the track geometry in accordance with Fig. 7 with additional track geometry for the production of an oscillating alternating field,

Fig. 9 shows a further embodiment of the track geometry used for the magnetisation of a plurality of sensor elements in accordance with Fig. 6,

Fig. 10 shows a special arrangement of a plurality of sensor elements and current conducting tracks of a magnetising device and

Fig. 11 shows an embodiment of an angle detector incorporating orthogonal sensor elements.

Corresponding parts are provided with the same reference symbols in each of the Figures.

A device according to the invention comprises at least one special magnetoresistive sensor element as well as a magnetising device which is associated with this sensor element. Thereby, this magnetising device together with the sensor element may be in the form of a unitary component (c.f. e.g. DE 195 20 206 A1). However, it is also possible for the sensor element and the magnetising device to be implemented as separate components (c.f. DE 195 20 178 A1 or DE 195 20 172 A1). In each case, the sensor element comprises at least one multi-layer system that is typical for a GMR element. The structure of an appropriate multi-layer system which can be provided on a substrate using thin-film technology is known (c.f. e.g. EP 0 483 373 A1 or DE 42 32 244 A1 or 42 43 357 A1 or WO 94/15223 A1). The multi-layer system comprises at least one magnetically relatively hard bias layer or a bias layer arrangement comprising a plurality of layers, at least one intermediate layer effective as a decoupling means which is applied thereto and also at least one magnetic field sensitive, magnetically as soft as possible measuring layer deposited on this intermediate layer. Terminal contacts appropriate for conducting a current through the system are provided on the multi-layer system. This structure could then be covered by a protective layer.

It is also advantageous for the layer-like structure of the GMR multi-layer system to be implemented as a so-called multiple-layer system. Such a system is characterised by the fact that it contains still further layers or layer packages in addition to the layer system described above and it may possibly include a sequence of periodically recurring layers (c.f. e.g. WO 94/15223 A1).

The resistance of such a GMR multi-layer system then depends on the relative orientation of the magnetisation of the measuring layer with respect to that of the bias layer arrangement. The change of this resistance can be used in order to determine the direction of an applied magnetic field and thus e.g. angular positions or absolute positions (see also WO 94/17426). This change of resistance specifies the size  $\Delta R_r$  of the magnetoresistive effect. Thereby, the size of  $\Delta R_r$  is defined as follows:

$$\Delta R_r = [R(\uparrow\downarrow) - R(\uparrow\uparrow)]/R(\uparrow\uparrow).$$

Because of the field direction sensitivity of the GMR multi-layer system, the magnetoresistive effect  $\Delta R_r$  represents the difference in the resistance between the anti-parallel and the parallel magnetization alignment of the measuring layer with respect to the bias layer or a corresponding bias layer arrangement. In the previously mentioned equation, the mutual alignment of the magnetization of the measuring layer and that of the bias layer is indicated by the alignment of the arrows. Generally, a magnetoresistive effect is regarded as a GMR effect if the size of  $\Delta R_r$  amounts to at least 2% (at ambient temperature) and in particular, is substantially greater than that. In the following, it is assumed that magnetoresistive sensor elements comprising a multi-layer system are to be regarded as GMR sensor elements exhibiting a GMR effect if they comprise alternating magnetic and non-magnetic layers, whereby the thicknesses of the layers thereof are smaller than the length of the mean free path of the electrons. Corresponding sensor elements, whose multi-layer systems comprise magnetically harder together with magnetically softer layers, are also frequently referred to as "spin valve" (spin valve) elements.

The bias layers of such GMR multi-layer systems should have as uniform a magnetization in a pre-determined direction as possible. The appropriate setting is made more difficult due to the effect of rotational hysteresis. This is above all the case for the setting of systems using synthetic anti-ferromagnets (c.f. the aforesaid WO 94/15223 A1), wherein a plurality of

ferromagnetic layers must be oriented in different directions. This is apparent from the diagrams depicted in Figs. 1 and 2. In these diagrams, the field strength H (in arbitrary units) is plotted along the abscissa and the magnetic induction M (in arbitrary units) is plotted along the ordinate. A system comprising a synthetic anti-ferromagnet is taken as the basis for a multi-layer system and, in the simplest form thereof, it comprises two ferromagnetic layers which are coupled via a non-magnetic intermediate layer. For the diagrams of Figs. 1 and 2 however, the basis is a multi-layer system 30 comprising a synthetic anti-ferromagnet AAF ("Synthetic anti-ferromagnet") which comprises three ferromagnetic (bias) layers 1, 2 and 3 between which there is arranged a respective non magnetic coupling layer 31 and 32. The layers 1 to 3 consist of a relatively hard magnetic material e.g. CO and the coupling layers 31 and 32 consist of e.g. Cu. Associated with each side of the synthetic anti-ferromagnet AAF, there are two outer soft-magnetic measuring layers 33 and 34 consisting of e.g. Ni-Fe (such as "permalloy") which are separated from the synthetic anti-ferromagnet AAF by respective decoupling intermediate layers 35 and 36 consisting of e.g. Cu. For a corresponding magnetic layer system, there must be an unbalance in the magnetic moments of the three magnetic layers 1 to 3. Hereby, it is assumed that the following relationship applies:

$$D_1M_1 + D_3M_3 > D_2M_2$$

where  $D_1 \approx D_3$ .

$M_i$  and  $D_i$  are respectively the saturation magnetization and thickness of the magnetic layer i. The ideal curve without rotational hysteresis is illustrated in Fig. 1. Here, the magnetic moments of the individual magnetic layers are indicated by arrows bearing the respective number of the layer. On the ideal curve, there are two characteristic field strength values  $H_p$  and  $H_s$  which delimit the inclined part of the hysteresis curve. For systems using isotropic materials or having isotropic properties, the values are determined by the following expressions:

$$H_s = -J (2D_1M_1 + D_2M_2) / (D_1M_1D_2M_2)$$

$$H_p = -J (2D_1M_1 - D_2M_2) / (D_1M_1D_2M_2)$$

where J is the magnetic polarization. Here, it should be taken into consideration that bias systems without rotational hysteresis are pointless because they do not offer any stability for the bias layer magnetization. Furthermore, it is indicated at the field strength value  $H_s$  on the

hysteresis curve shown that a parallel magnetization alignment of all three magnetic layers 1 to 3 of the multi-layer system is present in the state of magnetic saturation. In contrast thereto, the direction of magnetization of the middle ferromagnetic layer 2 is anti-parallel compared with that of the two outer magnetic layers 1 and 3 at a field strength value  $H_p$  which is smaller in absolute amount than  $|H_s|$ . The hysteresis curve runs approximately in the form of a plateau between the values  $H = 0$  and  $H = H_p$ .

In the diagram of Fig. 2, there is depicted a magnetic field region A in which a corresponding multi-layer system can work in stable manner. As is apparent from a comparison of the diagrams shown in Figs. 1 and 2, a rotational hysteresis effect is necessary. Here, the working area A is delimited by the plateau values  $|H_p|$  where the magnetization of the middle layer is aligned in the opposite direction to that of the outer layers. In the plateau, the moments of the bias layers should be aligned at least virtually exactly parallel to the setting field. A schematic illustration of the orientation of the moments in the case of rotational hysteresis is likewise indicated in the Figure. Hereby, the result of the rotational hysteresis effect is that the magnetizations of the bias layers are not uniform and deviate from the ideal setting in the working area. That is to say, the magnetic layer system is not initially in a state of minimum energy.

In order to reach this state of minimum energy, an alternating magnetic field of reducing amplitude is additionally applied for setting the magnetization of the bias layers. Namely, the magnetic setting field comprises a basic field, upon which there is additionally superimposed an alternating field (= auxiliary field). Hereby, both fields should decay in known manner from a pre-determined maximum value to zero. It is advantageous thereby, if the alternating field is aligned at least approximately perpendicularly to the basic field. In any case however, the directions of the alternating field and the basic field should include an angle  $\gamma$  of at least  $30^\circ$  with respect to a parallel or anti-parallel alignment. The basis for the corresponding directions of the field depicted in Figs. 3 and 4 is  $90^\circ$ . The Figures show two different ways of superimposing the two field components, wherein the basic field is designated by  $H_g$ , the alternating or auxiliary field by  $H_z$  and the field strength amplitude of the auxiliary field by  $h$ .

In accordance with Fig. 3, the basic field  $H_g$  decays from a value above  $H_s$  to a value below  $H_p$  (c.f. Figs. 1 and 2). The alternating field  $H_z$  is zero during this phase. The basic field  $H_g$  is

constant and the additional alternating field  $H_z$  is switched on between a time point  $t = t_1$  and a time point  $t = t_2$ .  $H_z$  is then reduced to zero after the decay of the alternating field  $H_z$ .

Fig. 4 shows a further possibility. In this case, the alternating field  $H_z$  is already switched on during the decay phase of the basic field  $H_g$ .

Magnetising devices in accordance with Figs. 3 and 4 thus require two separate field sources for the production of the basic field and the alternating field (= auxiliary field) of the magnetic setting field.

In the case of the previously proposed exemplary embodiment, it was assumed that the bias layer or the bias layer arrangement of just one GMR multi-layer system is to be magnetized by means of a basic magnetic field which is overlaid by an additional alternating magnetic field. Of course, a plurality of GMR multi-layer systems can also be magnetized at the same time in a corresponding manner. Fig. 5 shows an exemplary embodiment of a suitable magnetising device with the aid of which anti-parallel bias magnetizations are to be impressed into a plurality of multi-layer systems at the same time. One proceeds here from a Wheatstone bridge B having four sensor elements  $E_1$  to  $E_4$  each comprising at least one GMR multi-layer system in accordance with the DE 195 20 178 A1 mentioned above. The four strip-like sensor elements  $E_1$  to  $E_4$  are arranged in parallel next to each other on a common substrate 4. They preferably have the same layer structure and the same geometry. The contact surfaces of these sensor elements are connected together at the connection points  $C_1$ ,  $C_2$  and  $U_1$ ,  $U_2$ , so-called contact pads, by means of contact tracks 5 to form the bridge B. A conductive track  $L_j$  (with  $1 \leq j \leq 4$ ) on the lower surface of a conductive track carrier 7 of a magnetising device 8 bearing the general reference 8 is associated with each sensor element  $E_j$ . These conductive tracks  $L_j$  can additionally be provided with an insulating layer 9 in order to exclude the possibility of short-circuits between neighbouring conductive tracks. Hereby, the position of the individual conductive tracks  $L_j$  on the conductive track carrier 7 is selected in such a way that when advancing the magnetising device 8 towards the sensor elements  $E_j$ , the individual conductive tracks  $L_j$  run exactly parallel to the respectively associated sensor elements  $E_i$  whilst maintaining a very small spacing  $a$ . A respective (first) setting current  $I_{e1}$  to  $I_{e4}$  is passed in the directions of current flow indicated by the arrows through the individual conductive tracks  $L_1$  to  $L_4$  which have the same conductive track widths  $b_j$  for example. As is apparent from the Figure, the setting currents  $I_{e1}$  and  $I_{e4}$  run in the same direction and are anti-parallel to the setting

currents  $I_{e3}$  and  $I_{e2}$ . The respective basic magnetic field  $H_g$  of the setting field is produced in the associated sensor elements  $E_j$  by means of the individual setting currents  $I_{ej}$ . The oscillating auxiliary magnetic field  $H_z$  according to the invention should preferably be orthogonal to the basic fields produced by (the first) setting currents. It is produced in a corresponding manner by special conductive tracks  $L_z$  which include a corresponding angle  $\delta$  of preferably  $90^\circ$  with the conductive tracks  $L_j$ . Only a single one of these conductive tracks  $L_z$  is indicated in the Figure, this crossing the conductive tracks  $L_j$  at a right angle  $\delta$ . A (second) setting current  $I_{ez}$  for producing the oscillating alternating field  $H_z$  is passed through this conductive strip  $L_z$ .

Fig. 6 shows a known embodiment (c.f. e.g. DE 195 07 303 A1) for a sensor element in a device according to the invention. This element is composed of a plurality of strip-like partial sections  $e_a$  of a GMR multi-layer system which extend in the direction of flow of a sensor current  $I_o$ . These five partial sections in accordance with Fig. 6 for example each have a pre-determined axial extent  $S_a$  and a pre-determined width  $B_a$  and are arranged in parallel next to one another forming a mutual gap of width  $w$ . As seen in the direction of current flow, they are connected in series in meandering fashion by means of contact bridges  $k$ , whereby these contact bridges are advantageously spaced from the ends of the partial sections  $e_a$ . The contact bridges can be realised in that both the partial sections and the contact bridges are worked from a common planar layered structure of a GMR multi-layer system by means of an appropriate structuring process, for example, by means of electron beam lithography. Furthermore, non-magnetic current connection tracks of the sensor element  $E_j$  are designated by 10 in the Figure whilst the magnetization or reference directions of the bias layers of the individual partial sections are designated by  $m_a$ . The advantages of the embodiment indicated in the Figure are to be seen on the one hand in the fact that a desired impedance level of some  $k\Omega$  is attainable. On the other hand, an isotropic magnetization characteristic can be set by means of a pre-determined geometry and by impressing a preferred direction on the measuring layers. A further advantage of the geometry shown is that the strip shape can contribute to a stabilization of the magnetization in the bias layers.

In the case of the sensor elements in a device according to the invention, magnetizations of different alignment must be capable of being impressed into their bias layers or bias layer arrangements within a small space. It is advantageous that it is not only magnetising devices in accordance with DE 195 20 178 A1 (c.f. Fig. 5) that can be used for this purpose, but use can also be made of embodiments which are based on the design features of DE 195 20 172 A1 or

DE 195 20 206 A1. In accordance therewith, the current conducting tracks thereof can be formed either directly or in isolated manner on the respective multi-layer system and connected thereto, or else they could be positioned above this multi-layer system but separated therefrom. One possible embodiment of appropriate conductive tracks which is suitable for all of the aforesaid magnetising devices is illustrated in Fig. 7. Hereby, it is assumed that magnetizations are to be impressed into sensor elements which are not illustrated in the Figure and are arranged in two groups G1 and G2 such as is necessary for 360° angle detectors in particular, whereby the direction of magnetization of the elements in the first group runs orthogonally to the direction of magnetization of the second group. Correspondingly magnetized sensor elements are necessary for 360° angle detectors for example. Thereby, each sensor element should be formed in accord with the embodiment of Fig. 6. In each case, two series connected sensor elements exhibit mutually perpendicular magnetizations. Apparent from the Figure, are four current conducting tracks 12<sub>j</sub> of a magnetising device 11 which cover the multi-layer systems of the individual sensor elements. Here, in the vicinity of the individual sensor elements, the current conducting tracks 12<sub>j</sub> comprise strip conductors 12a which each extend above an associated partial section (e<sub>a</sub> in accordance with Fig. 6) of a sensor element. The strip conductors 12a are connected in parallel in the vicinity of the sensor elements. The (first) setting current for the production of the respective basic magnetic fields which is to be fed through the current conducting tracks is designated I<sub>ej</sub>.

A corresponding additional track geometry is necessary for the production of the auxiliary magnetic field. Accordingly, Fig. 8 depicts an appropriate embodiment comprising mutually orthogonal current conducting tracks 12<sub>j</sub> for the production of the basic field and 13<sub>j</sub> for the production of the auxiliary field.

In the case of an embodiment of a magnetising device 11 comprising two orthogonal current conducting tracks 12<sub>j</sub> and 13<sub>j</sub> such as that indicated in Fig. 8, the problem can arise that the current density is relatively large in the vicinity of the junction points between the individual sensor elements. Then however, the maximally attainable current densities and therefore the maximally attainable field strengths are correspondingly small. The cause for this is to be seen in the fact that the current is fed into these said regions in two orthogonal directions, whereby the current must pass from relatively narrow strip-like connecting pieces 15a and 16a (c.f. Figs. 7 and 8) through a right-angled bend to the respective individual conductive strip 12a and 13a. It is advantageous if, for at least one of the current conducting tracks 12<sub>j</sub> or 13<sub>j</sub>, the current is

supplied to the individual conductive strips of the conductive track in such a way that, to at least a large extent, it is distributed evenly to all the conductive strips 12a and 13a. Fig. 9 shows one possible corresponding embodiment of a current conducting track 17<sub>j</sub> which can replace the conductive tracks 12<sub>j</sub> for example. This current conducting track 17<sub>j</sub> comprises portions of conductive track 17a which are inclined at an angle  $\beta$  of preferably at most 45° and lead to the parts of the conductive track or merge into these parts which cover the associated sensor element. Because of the at least mainly equally large currents  $I_{ea}$  then flowing in the conductive strips 12a, the corresponding magnetic setting fields are also uniformly strong.

A parallel circuit consisting of individual conductive strips, obtained by means of a slitting process for example, of conductive tracks for the production of magnetizing fields can also be envisaged, advantageously, for other relatively large-surfaced sensor elements. Namely, it can thereby be ensured in principle that in the case where the direction of current flow is bent with respect to the direction of the conductive strips (c.f. Figs. 7 and 8), the current will be forced in the direction of the individual conductive strips and not in a direction running at an angle or diagonally over the conductive track. Accordingly, the direction of magnetization can thus be accurately defined.

The conductive portions 17a each have a relatively large surface area in the embodiment of Fig. 9 so that a correspondingly large proportion of e.g. 75% of the surface of a substrate supporting the sensor elements is lost for the connecting conductors. Another possible embodiment wherein about 50% of the substrate surface for the sensor elements is to be used is apparent from Fig. 10. Here, the individual sensor elements of the groups G1 and G2 (c.f. Fig. 7) are arranged on a substrate in chessboard-like manner. Herein, the sensor elements of the first group G1 are symbolized by a darker hue and are referenced by E<sub>j</sub> whilst those of the second group G2 are referenced by E'<sub>j</sub>. The appertaining magnetising device 21 covers these sensor elements with conductive tracks in two planes. The individual conductive tracks for producing the basic field are designated by 21a and 21a', whereby the reference symbols bearing the additional dash (') each represent the association thereof with the elements E'<sub>j</sub>. In a corresponding manner, the conductive tracks 21b and 21b' serve for the production of the auxiliary field. Thereby, the conductive tracks 21a and 21b' lie in a first plane of conductive tracks and are characterized by a darker shading, whilst the remaining conductive tracks 21a' and 21b are located in the second plane of conductive tracks located thereabove.

A Wheatstone bridge can be realized in a simple manner with the aid of such groups G1 and G2. Advantageously, the four elements of such a bridge are arranged next to each other. The two pairs of similar sensor elements have opposed prefixes in regard to their sensitivity due to the bias layer magnetization of neighbouring elements being aligned in opposite directions. This is achieved by causing the current in the neighbouring setting conductive tracks to flow in opposite directions and by arranging the conductive strips in meandering manner. One possible form of embodiment of a corresponding sensor based on the conductive strip geometry in accordance with Figs. 8 and 10 is illustrated in Fig. 11. Advantageously here, crossings of signal lines are avoided. A bridge B in accordance with Fig. 5 is indicated in the Figure although this involves a linear arrangement of sensor elements located one behind the other, whereby the sensor elements E<sub>1</sub> and E<sub>4</sub> belonging to the group G1 are illustrated in a darker hue than the sensor elements E<sub>3</sub> and E<sub>2</sub> belonging to the group G2. The contact areas U<sub>1</sub>, U<sub>2</sub>, C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub> alternating with the sensor elements are in each case shown in black. A second, correspondingly illustrated bridge such as is to be used advantageously for a 360° angle sensor, bears the reference symbol B'.

## Claims

**1. A device consisting**

a) of at least one sensor element for the detection of the direction of an external magnetic field, wherein the sensor element comprises a multi-layer system exhibiting a very large magnetoresistive effect (GMR) and incorporating

- at least one soft-magnetic measuring layer,
- at least one bias layer which is comparatively magnetically harder compared with the at least one measuring layer and whose direction of magnetization is adjustable,

and also

- at least one non-magnetic intermediate layer arranged between the at least one measuring layer and the at least one bias layer

and

b) of a magnetising device associated with the at least one sensor element for the production of a magnetic setting field that sets the magnetization of the at least one bias layer in a preferred direction, said setting field being composed of a basic magnetic field and an auxiliary magnetic field and being adjustable in decaying manner from an initial field strength value above the saturation magnetization of the at least one bias layer, whereby the magnetising device comprises a conductive track carrying a setting current for the production of the basic magnetic field as well as means for the production of the auxiliary magnetic field, characterized in that, in addition to a first conductive track ( $L_j, 12_j$ ) carrying a first setting current ( $I_{ej}$ ) for producing the basic field ( $H_g$ ), the magnetising device (8, 11, 21) contains a second conductive track ( $L_z, 13_j$ ) carrying a second setting current ( $I_{ez}$ ) for the production of an auxiliary field ( $H_z$ ) having an oscillating field strength amplitude which decays within the decay time of the basic field from a maximum value to zero, whereby the two conductive tracks are arranged in such a manner that their directions of current flow cross at an angle ( $\delta$ ) which is unequal to  $0^\circ$  or unequal to  $180^\circ$ .

**2. A device according to Claim 1, characterized in that at least one of the conductive tracks ( $L_j, L_z$ ) forms a common component with the multi-layer system associated therewith.**

**3. A device according to Claim 1, characterized in that at least one of the conductive tracks ( $L_j, L_z$ ) is part of a component separated from the multi-layer system.**

4. A device according to any of the Claims 1 to 3, characterized in that at least one of the conductive tracks ( $L_j, L_z$ ) is subdivided into a plurality of electrically parallel conductive strips (12a, 13a) at least in the vicinity of the respective sensor element ( $E_j, E_j'$ ) associated therewith.
5. A device according to any of the Claims 1 to 4, characterized in that, in the case of at least one of the conductive tracks (17j), a portion of the conductive track (17a) merges into the part thereof which is associated with the respective sensor element ( $E_j, E_j'$ ) at an angle ( $\delta$ ) of at most  $45^\circ$ .
6. A device according to any of the Claims 1 to 5, characterized by means for producing the auxiliary field ( $H_z$ ) after the decay of the basic field ( $H_g$ ) to a pre-determined intermediate value ( $H_p$ ) of the field strength.
7. A device according to Claim 6, characterized by means for keeping the basic field ( $H_g$ ) at least approximately constant during the decay time of the auxiliary field ( $H_z$ ) to the intermediate value ( $H_p$ ) of the field strength.
8. A device according to any of the Claims 1 to 5, characterized by means for producing the auxiliary field ( $H_z$ ) together with the basic field ( $H_g$ ) whereby the time point of initiation of the two fields is at least approximately simultaneous.
9. A device according to any of the Claims 1 to 8, characterized in that an auxiliary field ( $H_z$ ) is produced which runs at an angle ( $\gamma$ ) of at least  $30^\circ$  in relation to a parallel or anti-parallel alignment with respect to the basic field ( $H_g$ ).
10. A device according to Claim 9, characterized in that an auxiliary field ( $H_z$ ) is produced which is at least approximately perpendicular to the basic field ( $H_g$ ).
11. A device according to any of the Claims 1 to 10, characterized in that the at least one sensor element ( $E_j, E_j'$ ) is composed of a plurality of strip-like partial sections ( $e_a$ ), whereby these partial sections are arranged next to each other such as to be in parallel with the direction of flow of a sensor current ( $I_o$ ) and they are electrically connected in series in meandering manner.

12. A device according to Claim 11, characterized in that the partial sections ( $e_a$ ) are connected in series by means of contact bridges (k).

13. A device according to Claim 12, characterized in that the contact bridges (k) are spaced from the ends of the respective strip-like partial sections ( $e_a$ ).

14. A device according to any of the Claims 1 to 13, characterized by a plurality of sensor elements ( $E_j, E_j'$ ) which are connected up to form at least one bridge (B).

15. A device according to Claim 14, characterized in that the bridge (B) comprises groups (G1, G2) of pairs of sensor elements ( $E_1, E_4$  and  $E_3, E_2$ ) whose bias layers are magnetized in anti-parallel.

16. A device according to Claim 14 or 15, characterized in that the sensor elements ( $E_j, E_j'$ ) are arranged in chessboard-like manner, whereby the elements of each group (G1, G2) occupy a row or a column of the chessboard arrangement and the associated current conducting tracks (21a, 21a', 21b, 21b') of the magnetising device (21) run in the direction of the rows and columns.

17. A device according to Claim 14 or 15, characterized in that the sensor elements ( $E_j, E_j'$ ) of the at least one bridge (B) are arranged linearly one behind the other.

18. A device according to any of the Claims 1 to 17, characterized by a plurality of sensor elements ( $E_j, E_j'$ ) having the same layer structure for their multi-layer systems (30) and the same geometry.

19. A device according to any of the Claims 1 to 17, characterized in that the measuring layer (33, 34) and/or the at least one bias layer (1 to 3) of the multi-layer system (30) of the at least one sensor element ( $E_j, E_j'$ ) are formed by a layer package consisting of a plurality of layers.

20. A device according to Claim 19, characterized in that the at least one multi-layer system (30) contains a bias layer arrangement which comprises a plurality of ferromagnetic layers (1 to 3) forming a synthetic anti-ferromagnet (AAF) with a non magnetic intermediate layer (31, 32) being arranged therebetween.

10 Sheets of drawings are attached hereto



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- BLACK BORDERS**
- IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- FADED TEXT OR DRAWING**
- BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- SKEWED/SLANTED IMAGES**
- COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- GRAY SCALE DOCUMENTS**
- LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**